



TESIS - EE185401

MONITORING DAN ANALISIS DAMPAK PEMBEBANAN TERHADAP POSISI PELETAKAN SENSOR VIBRASI PADA TANGKI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 kV

TAURUSKI SYAIFULLAH ANWAR
07111650010003

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M. Eng.
Vita Lystianingrum Budiharto Putri, S.T., M.Sc., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019



TESIS - EE185401

**MONITORING DAN ANALISIS DAMPAK
PEMBEBANAN TERHADAP POSISI PELETAKAN
SENSOR VIBRASI PADA TANGKI
TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 kV**

TAURUSKI SYAIFULLAH ANWAR
07111650010003

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M. Eng.
Vita Lystianingrum Budiharto Putri, S.T., M.Sc., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019

LEMBAR PENGESAHAN

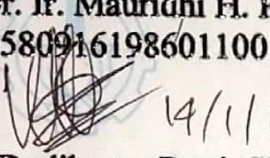
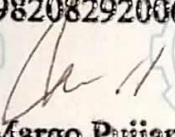
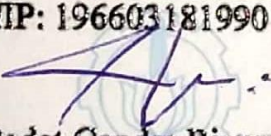

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Tauruski Syaifullah Anwar
NRP. 07111650010003

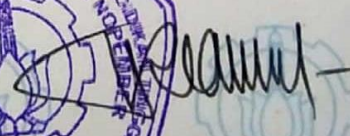
Tanggal Ujian : 17 Desember 2018
Periode Wisuda : Maret 2019

Disetujui oleh:

1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi H. Purnomo, M.Eng. (Pembimbing I)
NIP: 195809161986011001
 14/11/19
2. Vita L. Budiharto. Putri, ST., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing II)
NIP: 198208292006042001

3. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. (Penguji I)
NIP: 196603181990101001
 09-01-19
4. Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D. (Penguji II)
NIP: 197311192000031001
5. Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT. (Penguji III)
NIP: 198109052005011002


Dekan Fakultas Teknologi Elektro




Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.
NIP. 197002121995121001

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **“MONITORING DAN ANALISIS DAMPAK PEMBEBANAN TERHADAP POSISI PELETAKAN SENSOR VIBRASI PADA TANGKI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 kV”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Desember 2018



Tauruski Syaifullah Anwar

NRP. 07111650010003

Halaman ini sengaja dikosongkan

MONITORING DAN ANALISIS DAMPAK PEMBEBANAN TERHADAP POSISI PELETAKAN SENSOR VIBRASI PADA TANGKI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 kV

Nama mahasiswa : Tauruski Syaifullah Anwar
NRP : 07111650010003
Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi H. Purnomo, M.Eng.
2. Vita L. Budiharto Putri, S.T., M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Transformator distribusi adalah salah satu peralatan yang sangat penting pada sistem tenaga [1]. Vibrasi adalah salah satu peristiwa besar pada transformator yang dimulai setelah dekompresi (pengurangan) pada magnet *core* dan *winding* [2]. Monitoring vibrasi pada tangki transformator adalah cara yang paling efektif guna merepresentasikan vibrasi yang terjadi pada bagian dalam transformator [3].

Dari sekian penelitian terkait vibrasi pada tangki transformator hanya transformator daya yang banyak diujikan dan beberapa dilakukan pada uji laboratorium. Perlu adanya kajian lebih lanjut untuk dapat diterapkan pada transformator distribusi serta penggunaan sensor vibrasi yang dapat diimplementasikan pada tangki transformator distribusi.

Oleh sebab itu penelitian selanjutnya yakni monitoring dan analisis dampak pembebanan terhadap posisi peletakan sensor vibrasi pada tangki transformator distribusi 20 kV dengan mengimplementasikan elemen *piezoelectric* 20 mm sebagai transduser vibrasi dengan rata – rata % *error* pengukuran $\pm 17,8$ % dari desain yang telah dibuat.

Hasil eksperimen menunjukkan semakin meningkatnya pembebanan, maka vibrasi juga akan mengalami peningkatan sesuai dengan vibrasi yang terukur pada masing – masing sensor vibrasi. Sensor vibrasi yang terletak di 1/3 bagian atas (A0, A3, A6) dan 1/3 bagian bawah (A2, A5, A8) yang masing – masing memiliki nilai koefisien korelasi positif kuat lebih sensitif terhadap kenaikan pembebanan dari pada di 1/3 bagian tengah (A1, A4, A5) dengan nilai koefisien korelasi cukup/lemah dan sensor vibrasi yang terletak di 1/3 bagian bawah (A2, A5, A8) memiliki nilai vibrasi yang lebih tinggi dari keseluruhan peletakan sensor vibrasi.

Kata kunci: (*Piezoelectric*, Transformator distribusi, Vibrasi, Korelasi pearson)

Halaman ini sengaja dikosongkan

**MONITORING AND ANALYSIS OF THE IMPACT OF LOADING ON THE
POSITION OF THE VIBRATION SENSOR PLACEMENT IN THE 20 kV
DISTRIBUTION TRANSFORMER TANK**

By : Tauruski Syaifullah Anwar
Student Identity Number : 07111650010003
Supervisor(s) : 1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi H. Purnomo, M.Eng.
2. Vita L. Budiharto Putri, S.T., M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Distribution transformers are one of the most important equipment in the power system [1]. Vibration is one of the major events in the transformer that starts after decompression (reduction) on the magnetic core and winding [2]. Vibration monitoring in a transformer tank is the most effective way to represent vibrations that occur on the inside of the transformer [3].

Of the various studies related to the vibrations in the transformer tank, only power transformers are tested and some are carried out in laboratory tests. Further studies are needed to be applied to distribution transformers and the use of vibration sensors that can be implemented in distribution transformers.

Therefore the next study is impact monitoring and analysis of loading on the position of the vibration sensor placement in a 20 kV distribution transformer tank by implementing a 20 mm piezoelectric element as a vibrational transducer with an average% measurement error $\pm 17.8\%$ of the design made.

The experimental results show that the higher the load, the vibration will also increase according to the vibrations measured on each vibration sensor. Vibration sensors located in the 1/3 upper part (A0, A3, A6) and 1/3 lower part (A2, A5, A8) which each have a strong positive correlation coefficient are more sensitive to the increase in loading than at 1 / 3 the middle part (A1, A4, A5) with a sufficient / weak correlation coefficient and vibration sensor located in the 1/3 lower part (A2, A5, A8) has a higher vibration value than the overall vibration sensor placement.

Key words: (Piezoelectric, Distribution transformer, Vibration, Pearson correlation)

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala karunia dan ridho-NYA, sehingga tesis dengan judul “**MONITORING DAN ANALISIS DAMPAK PEMBEBANAN TERHADAP POSISI PELETAKAN SENSOR VIBRASI PADA TANGKI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 kV**” ini dapat terselesaikan. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) dalam bidang keahlian Teknik Sistem Tenaga pada program studi Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyampaikan rasa hormat dan menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada :

1. Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW serta seluruh para Waliallah atas berkah dan rahmat serta karunia yang telah diberikan pada penulis.
2. Bapak H. Soehardjito dan Ibu Hj. Isnurwiyani selaku kedua orang tua saya yang selalu mengarahkan ke jalan yang benar, kakak kandung saya H. Fradana Firdiantoni Afsoh, S.ST, M.T dan keluarga yang telah banyak membantu kehidupan pribadi penulis baik moril maupun materil.
3. Istriku tercinta Ranni Oktoviana yang selalu menemani di kala susah, senang, sedih, bahagia, sulit maupun kelapangan dan untuk buah hati ku Ahmad Jalaluddin Kamil semoga menjadi anak yang sholeh berguna bagi bangsa, negara dan agama.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Mauridhi H. Purnomo, M.Eng dan. ibu Vita L. Budiharto Putri, S.T., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan membantu mengarahkan penulis dalam penyelesaian tesis.
5. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T, Bapak Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D, Bapak Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T selaku dosen penguji yang telah banyak membantu dalam penyempurnaan isi dari penelitian ini.

6. Teman – teman satu angkatan S2 sistem tenaga 2016, terutama sahabat “Hore Team” ku Aggie, Tirta, Viko. Kebersamaan yang takkan terlupakan selama menempuh studi magister.

Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran untuk memperbaiki penelitian dan penulisan karya ilmiah di masa yang akan datang.

Surabaya, Desember 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Kontribusi	3
1.6 Metodologi Penelitian	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Kajian penelitian terkait	5
2.2 Transformator	6
2.2.1 Transformator distribusi	7
2.3 Teori vibrasi	7
2.3.1 Jarak vibrasi (<i>Displacement</i>)	8
2.3.1 Kecepatan vibrasi (<i>Velocity</i>)	8
2.3.2 Percepatan vibrasi (<i>Acceleration</i>)	8
2.4 Vibrasi pada transformtor	9
2.4.1 Vibrasi <i>winding</i>	9
2.4.2 Vibrasi <i>core</i>	10
2.5 Sensor pendeteksi vibrasi	11
2.5.1 <i>Piezoelectric</i>	11

2.6	Arduino mega 2560	12
2.7	NetBeans IDE.....	13
2.8	Analisis korelasi	14
2.8.1	<i>Pearson product moment correlation</i>	15
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		19
3.1	Identifikasi transformator	19
3.2	Desain dan kalibrasi sensor vibrasi	20
3.2.1	Simulasi sistem vibrasi mekanik	22
3.2.2	Sistem konversi dan kalibrasi	23
3.3	Penentuan daerah peletakan sensor vibrasi pada tangki transformator distribusi 20 kV	24
3.4	Pengukuran pembebanan.....	25
3.5	Hitung pembebanan transformator dan analisis	25
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1	Kalibrasi sensor vibrasi menggunakan elemen <i>piezoelectric</i>	27
4.2	Data pengukuran arus dan THDi terhadap pembebanan transformator distribusi 20 kV	29
4.3	Dampak pembebanan terhadap posisi peletakan 9 sensor vibrasi pada tangki transformator distribusi 20 kV	32
4.4	Hubungan pembebanan terhadap posisi peletakan sensor vibrasi dengan diagram pencar	38
4.5	Hubungan pembebanan terhadap posisi peletakan sensor vibrasi dengan pendekatan korelasi pearson.....	41
BAB 5 KESIMPULAN		45
5.1	Kesimpulan.....	45
5.2	Pengembangan penelitian.....	46
DAFTAR PUSTAKA.....		47
LAMPIRAN		49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rangkaian ekuivalen transformator	7
Gambar 2.2 Komponen utama terjadinya vibrasi mekanik.....	10
Gambar 2.3 Mekanisme kerja <i>piezoelectric</i>	12
Gambar 2.4 Lembar kerja awal memulai pemrograman pada <i>software</i> arduino IDE	13
Gambar 2.5 Lembar kerja awal memulai pemrograman java pada <i>software</i> netbeans	14
Gambar 2.6 korelasi positif sempurna (a), korelasi negatif sempurna (b), korelasi positif kuat (c), tidak berkorelasi (d)	15
Gambar 3.1 Blok diagram tahapan penelitian	19
Gambar 3.2 Bentuk fisik transformator distribusi 20 kV/630 kVA(a), Bentuk fisik transformator distribusi 20 kV/800 kVA(b).....	20
Gambar 3.3 <i>Piezoelectric disk</i> 20 mm.	21
Gambar 3.4 Kabel instrumen stereo (<i>double core</i>)	21
Gambar 3.5 Desain sensor vibrasi menggunakan elemen <i>piezoelectric</i>	21
Gambar 3.6 Desain simulasi untuk vibrasi mekanik dan kalibrasi	22
Gambar 3.7 Lutron vb - 8200 vibration meter tester	22
Gambar 3.8 <i>Flowchart</i> sistem kalibrasi	23
Gambar 3.9 Peletakan sensor vibrasi menggunakan elemen <i>piezoelectric</i> pada tangki transformator distribusi 20 kV di sisi sekunder (a), Ilustrasi truktur internal posisi <i>winding</i> dan <i>core</i> transformator distribusi 20 kV(b)	24
Gambar 3.10 Blok diagram pengukuran tegangan, arus, THDi dan vibrasi pada transformator distribusi 20 kV.	25
Gambar 4.1 Peletakan sensor vibrasi di sisi sekunder pada tangki transformator distribusi 20 kV/630 kVA (a), Pengambilan data pembebanan pada kubikal transformator distribusi 20 kV menggunakan fluke meter 3 fasa (b)	29
Gambar 4.2 Grafik data arus (Irms) terhadap pembebanan transformator distribusi 20 kV/630 kVA pada gardu ss4	30
Gambar 4.3 Grafik data THDi R, THDi S, THDi T terhadap pembebanan transformator distribusi 20 kV/630 kVA pada gardu ss4	30
Gambar 4.4 Grafik data arus (Irms) terhadap pembebanan transformator distribusi 20 kV/800 kVA pada gardu teknik sipil	31
Gambar 4.5 Grafik data THDi R, THDi S, THDi T terhadap pembebanan transformator distribusi 20 kV/800 kVA pada gardu teknik sipil.....	31
Gambar 4.6 Pembagian daerah peletakan sensor vibrasi pada tangki transformator distribusi 20 kV di sisi sekunder.	34
Gambar 4.7 Grafik data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian atas (a), Grafik data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian tengah (b), Grafik data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian bawah (c).....	35

Gambar 4.8 Grafik data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian atas (a), Grafik data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian tengah (b), Grafik data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian bawah (c)	37
Gambar 4.9 Diagram pencar data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian atas (a), Diagram pencar data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian tengah (b), Diagram pencar data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian bawah (c).....	39
Gambar 4.10 Diagram pencar data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian atas (a), Diagram pencar data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian tengah (b), Diagram pencar data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian bawah (c).....	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Nilai koefisien dan korelasi (r) terhadap arah dan kekuatan korelasi...	16
Tabel 3-1 Transformator distribusi yang diujikan pada penelitian	20
Tabel 4-1 Hasil kalibrasi pengukuran sensor vibrasi A0-A4 dengan <i>vibration meter tester</i>	27
Tabel 4-2 Data kalibrasi pengukuran sensor vibrasi A5-A8 dengan <i>vibration meter tester</i>	28
Tabel 4-3 Rata - rata % kesalahan (<i>error</i>) pengukuran sensor vibrasi terhadap alat ukur <i>vibration meter tester</i>	29
Tabel 4-4 Data nilai maksimum, rata - rata dan minimum pengukuran vibrasi terhadap pembebanan pada transformator distribusi 20 kV/630 kVA.....	32
Tabel 4-5 Data nilai maksimum, rata - rata dan minimum pengukuran vibrasi terhadap pembebanan pada transformator distribusi 20 kV/800 kVA.....	33
Tabel 4-6 Data nilai masing - masing pasangan variabel vibrasi terhadap pembebanan pada transformator distribusi 20 kV/630 kVA.....	42
Tabel 4-7 Data nilai masing - masing pasangan variabel vibrasi terhadap pembebanan pada transformator distribusi 20 kV/800 kVA.....	42
Tabel 4-8 Nilai koefisien korelasi (r) masing - masing pasangan variabel vibrasi terhadap pembebanan pada transformator distribusi 20 kV/630 kVA.....	43
Tabel 4-9 Nilai koefisien korelasi (r) masing - masing pasangan variabel vibrasi terhadap pembebanan pada transformator distribusi 20 kV/800 kVA.....	44

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan energi listrik bagi masyarakat sangatlah penting untuk menunjang aktivitas kehidupan keseharian baik secara sosial maupun ekonomi masyarakat. Transformator distribusi adalah salah satu peralatan yang sangat penting pada sistem tenaga [1]. Kerusakan pada operasi peralatan tersebut dapat mengakibatkan kerugian yang serius diantaranya padamnya jaringan sistem distribusi yang menghambat penyaluran energi listrik dan juga biaya perbaikan yang tidak murah. Vibrasi adalah salah satu peristiwa besar pada transformator yang dimulai setelah dekompresi (pengurangan) pada magnet *core* dan *winding* [2]. Monitoring vibrasi memegang peranan yang sangat penting pada mesin – mesin di industri, dikarenakan terletak dibagian terluar dari mesin yang dapat dijangkau secara langsung dan dapat segera dilakukan pemantauan kondisi dari mesin, sehingga sangat membantu dalam upaya memenuhi kebutuhan perawatan mesin. Penelitian sebelumnya [3], menjelaskan bahwa monitoring vibrasi pada tangki transformator adalah cara yang paling efektif guna merepresentasikan vibrasi yang terjadi pada bagian dalam transformator yang disebabkan oleh komponen utama pembentuk transformator yakni *winding* dan *core*.

Hasil studi yang telah ada menyebutkan bahwa kegagalan transformator disebabkan oleh fenomena yang terjadi pada *winding* [4]. Transformator akan bergetar (vibrasi) saat beroperasi. Vibrasi pada *core* disebabkan oleh magnetostriksi dan gaya elektromagnetik, sedangkan vibrasi pada *winding* terjadi akibat gaya elektrodinamik yang disebabkan interaksi antar arus pada *winding* dengan fluks bocor [5]. Pemantauan kondisi transformator berbasis vibrasi menjadi hal yang sangat penting. Kegagalan mekanis menghasilkan perbedaan dalam pola vibrasi yang disebabkan oleh kegagalan *winding*, *core* atau keduanya [6] [7].

Dari sekian penelitian yang telah disebutkan pengujian vibrasi hanya dilakukan pada tangki transformator daya dan dilakukan pada skala uji laboratorium. Disisi lain transformator distribusi juga memiliki peranan yang vital

dalam menyalurkan tenaga listrik ke pusat – pusat beban (*load center*), sedangkan sensor vibrasi yang digunakan tidaklah murah serta memiliki konstruksi (bentuk sensor) yang tidak selalu dapat diterapkan pada tangki transformator dengan jenis dan manufaktur yang berbeda.

Penelitian yang akan dilakukan adalah monitoring vibrasi pada tangki transformator distribusi 20 kV terhadap pembebanan yang dilakukan selama ± 24 jam dengan meletakkan 9 buah sensor vibrasi menggunakan elemen *piezoelectric* yang dapat menjangkau dari struktur datar tangki transformator. Sensor vibrasi ini telah terintegrasi dengan mikrokontroler arduino mega 2560 dan dapat merekam hasil pengukuran menggunakan PC. Selain vibrasi, adapun nilai dari pembebanan diukur dengan menggunakan fluke meter 3 fasa. Hasil pengukuran yang akan diperoleh selanjutnya dianalisis dan dibandingkan dengan harapan dapat diketahui korelasi tingkat vibrasi dari masing – masing lokasi penempatan sensor terhadap pembebanan dengan menggunakan metode pendekatan korelasi pearson .

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan permasalahan yang akan dibahas dalam tesis ini adalah:

1. Bagaimana mengetahui dampak pembebanan terhadap posisi peletakan sensor vibrasi.
2. Bagaimana mengetahui hubungan pembebanan terhadap vibrasi pada tangki transformator distribusi 20 kV.

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka penelitian pada tesis ini bertujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui dampak pembebanan terhadap posisi peletakan sensor vibrasi.
2. Mengetahui hubungan pembebanan terhadap vibrasi pada tangki transformator distribusi 20 kV.

1.4 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan tesis perlu adanya batasan masalah agar penelitian ini dapat diselesaikan sesuai dengan yang diinginkan diantaranya :

1. Transformator yang digunakan adalah transformator distribusi dengan level tegangan primer 20 kV.
2. Transformator dalam keadaan normal dan bertegangan/beroperasi.
3. Parameter yang digunakan dalam pengolahan data adalah vibrasi yang terukur pada tangki transformator distribusi dan pembebanan di sisi sekunder.
4. Pengukuran vibrasi menggunakan elemen *piezoelectric* diameter 20 mm dengan nilai *output* berupa kecepatan (rms) dan akselerasi (rms) yang telah di olah sebelumnya melalui proses kalibrasi oleh mikrokontroler arduino mega 2560 dan *software* netbeans IDE untuk *record* data.
5. Pembuktian adanya korelasi pembebanan terhadap posisi peletakan sensor vibrasi yang terukur menggunakan metode pendekatan korelasi pearson.

1.5 Kontribusi

Kontribusi yang diharapkan pada penelitian ini adalah dapat diperolehnya informasi terkait hubungan pembebanan terhadap posisi peletakan sensor vibrasi serta korelasi diantaranya guna kebutuhan akan monitoring transformator distribusi, program perawatan maupun daerah pengukuran vibrasi pada tangki transformator khususnya bagi pelaku usaha maupun instansi yang bergelut di bidang transformator distribusi.

1.6 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Melakukan pengumpulan literatur yang dibutuhkan untuk pengerjaan dan penelitian penelitian yang terkait dengan vibrasi pada transformator distribusi meliputi jurnal, *proceeding*, dan *text book*.

2. Perancangan Sistem

Perancangan sistem melibatkan beberapa eksperimen seperti membuat sensor vibrasi menggunakan elemen *piezoelectric* dan mengkalibrasikan dengan

alat ukur vibrasi meter , membuat aplikasi berbasis *software* java untuk merekam data vibrasi ke pc.

3. Pengujian Sistem

Segala parameter yang sudah dibuat saat perancangan sistem akan diuji sehingga diperoleh data vibrasi dan pembebanan yang dapat diolah dan selanjtnya dilakukan analisis data.

4. Analisis Data

Analisa data dilakukan untuk mengidentifikasi hasil pengujian yang telah dilakukan yakni analisis vibrasi pada tangki transformator distribusi terhadap pembenanan.

5. Penulisan Laporan Penelitian

Sebagai hasil akhir dari penelitian ini, dilakukan penulisan laporan sebagai hasil dari penelitian ini.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

Transformator akan ber-vibrasi (getar) selama beroperasi. Tingkat vibrasi yang terjadi dipengaruhi oleh kondisi dari transformator itu sendiri, seperti yang telah sedikit disampaikan pada bagian pendahuluan (bab 1). Subbab berikutnya menjelaskan secara ringkas mengenai referensi penelitian terkait dan teori dasar penunjang penelitian tesis.

2.1 Kajian penelitian terkait

Vibrasi yang terjadi pada saat transformator beroperasi tidak bisa dihindarkan. Penelitian sebelumnya di tahun 2017 [8], dijelaskan bahwa karakteristik distribusi (penyebaran) vibrasi didefinisikan sebagai vibrasi yang terukur pada permukaan tangki transformator. Pola penyebaran vibrasi tersebut digunakan untuk mengetahui potensi kegagalan *winding* transformator. dengan meletakkan sejumlah 25 sensor *accelerometer* pada tangki transformator, namun tidak dijelaskan secara spesifik struktur dari sensor vibrasi yang digunakan dalam penempatannya pada tangki transformator.

Penelitian di tahun yang sama (2017) [9], menunjukkan karakteristik distribusi kecepatan vibrasi pada titik pengukuran yang berbeda-beda pada tangki transformator 1 fasa 400 Volt /10 kV dengan metode pengujian berbeban dan tidak berbeban. Pengujian ini dapat diaplikasikan untuk monitoring kondisi dari *winding* transformator. Keterbatasan alat ukur vibrasi yang menggunakan *portable digital vibrometer* (PDV) yang dipasang secara bergantian pada titik pengukuran vibrasi membuat pengukuran tidak simultan dan hanya terbatas pada skala laboratorium.

Pada [5], penempatan sensor vibrasi sebanyak 40 buah pada seluruh sisi tangki transformator daya 500 kV menunjukkan hasil vibrasi yang terukur memiliki korelasi yang tinggi dengan arus pembebanan. Hasil terbaik didapat pada bagian dekat dengan input dan pada bagian bawah transformator. Validasi korelasi ini dilakukan dengan menganalisa sinyal vibrasi dalam bentuk rms pada frekuensi yang berbeda yang selanjutnya dibandingkan dengan arus pembebanan. Banyaknya

sensor vibrasi yang dibutuhkan dan aplikasinya pada transformator daya perlu dikaji lebih lanjut sebelum diterapkan pada transformator distribusi.

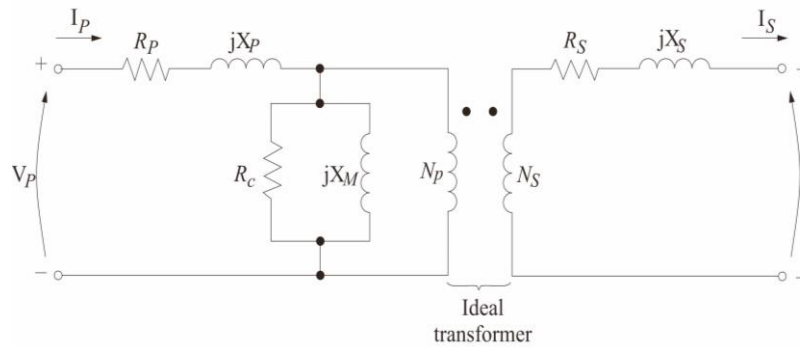
Pengujian vibrasi pada tangki transformator daya 110 kV bahwa sensor vibrasi pada tangki transformator di bagian yang dekat dengan *winding* (tengah) memiliki nilai rugi-rugi transmisi vibrasi yang rendah, sehingga pengukuran vibrasi yang optimal dapat ditentukan [10]. Namun metode tersebut hanya dapat dilakukan pada skala laboratorium dengan memodifikasi transformator sehingga pengujian dapat dilakukan dengan dan tanpa menyertakan minyak transformator pada kondisi pembebanan yang ditentukan.

Vibrasi pada tangki transformator daya 30 MVA 150/30 kV memiliki korelasi dengan arus pembebanan. Sinyal vibrasi diolah ke dalam domain frekuensi (fundamental hingga kelipatannya) selanjutnya dibandingkan dengan kuadrat arus pembebanan transformator. Hasil tersebut digunakan untuk membandingkan dua transformator yang identik dari manufaktur yang sama untuk menentukan transformator yang memiliki kondisi *winding* dan *core* yang lebih baik [11]. Namun tidak dijelaskan lebih spesifik mengenai jenis sensor vibrasi yang digunakan dan titik lokasi penempatan sensor vibrasi pada transformator.

Adapun terkait teori vibrasi yang terukur pada tangki transformator adalah jumlah dari vibrasi yang ditimbulkan oleh *winding* dan *core*. Hal ini dapat diketahui dari hasil penelitian yang telah dilakukan dengan meletakkan sensor vibrasi selain pada tangki transformator, namun juga diletakkan secara langsung pada *winding* dan *core* (internal) transformator 1500 kVA/220 kV. Kasus ini hanya dapat dilakukan pada skala laboratorium [12].

2.2 Transformator

Transformator adalah suatu piranti listrik yang dapat melakukan pemindahan atau mengubah energi listrik dari satu tingkat yang lebih tinggi ke tingkat yang lebih rendah (atau sebaliknya) berdasarkan pada prinsip elektromagnetik. Adapun secara umum rangkain ekuivalen dari transformator ideal adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Rangkaian ekuivalen transformator

Dari rangkaian ekuivalen diatas, dapat diketahui

Tegangan di sisi primer,

$$V_P = E_P + (I_P \times R_P) + (I_P \times jX_P) \quad (2.1)$$

Tegangan di sisi sekunder,

$$E_S = V_S + (I_S \times R_S) + (I_S \times jX_S) \quad (2.2)$$

Pada kumparan di sisi primer akan mengalirkan arus AC ke sisi sekunder pada inti transformator sehingga pada inti transformator yang terdapat lilitan primer dan lilitan sekunder tersebut akan terbentuk garis-garis gaya magnet / fluks yang memiliki arah dan jumlah yang berubah-ubah yang saling berlawanan antara arah GGL (gaya gerak listrik) induksi primer dan GGL induksi sekunder.

2.2.1 Transformator distribusi

Transformator distribusi yang umum digunakan pada jaringan sistem tegangan menengah adalah 20 kV pada sisi primer, sedangkan pada sisi sekunder dengan tegangan fasa sistem jaringan tegangan rendahnya adalah 380/220 volt (level tegangan yang digunakan sebagai sumber dari kelistrikan rumah tangga).

2.3 Teori vibrasi

Vibrasi adalah gerakan osilasi (bolak-balik) yang berulang dari bagian benda yang elastis dari posisi kesetimbangan (diam) pada suatu interval tertentu. Vibrasi biasanya terjadi pada suatu sistem (baik benda maupun mesin) yang menerima gaya eksitasi yang dapat diketahui dengan adanya perubahan (sinyal) secara periodik dari suatu besaran. Vibrasi pada mesin diartikan sebagai gerakan

bolak-balik dari komponen mekanik sebagai reaksi dari adanya gaya (eksitasi) yang dihasilkan baik oleh mesin itu sendiri maupun lingkungan sekitarnya.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pengukuran vibrasi pada mesin mencakup tiga parameter utama yakni *displacement* (perpindahan), *velocity* (kecepatan) dan *acceleration* (percepatan).

2.3.1 Jarak vibrasi (*Displacement*)

Adalah jarak yang ditempuh oleh gerakan bolak-balik pada suatu periode tertentu yang dirumuskan sebagai berikut :

$$Displacement (u) = A \sin(2\pi ft) \quad (2.3)$$

Dengan,

A = Panjang jarak pergeseran (*u*)

F = Frekuensi (Hertz)

T = Waktu (s)

Dijelaskan juga bahwa Jarak merupakan besaran skalar, yang tanpa memperhatikan arahnya.

2.3.1 Kecepatan vibrasi (*Velocity*)

Kecepatan vibrasi dapat diartikan sebagai kecepatan dari gerakan bolak-balik pada suatu periode tertentu. Parameter kecepatan memiliki nilai yang cenderung selalu berubah sepanjang jarak yang ditempuhnya dimana pada saat posisi maksimumnya baik positif maupun negatif nilai kecepataannya adalah nol. Adapun persamaan kecepatan vibrasi adalah sebagai berikut :

$$Velocity (mm/s) = 2\pi f A \cos(2\pi ft) \quad (2.4)$$

Dijelaskan juga bahwa kecepatan merupakan besaran vektor, dimana kecepatan menyatakan perpindahan benda tiap satuan waktu dengan memperhatikan arahnya.

2.3.2 Percepatan vibrasi (*Acceleration*)

Percepatan vibrasi adalah percepatan gerak secara bolak-balik pada suatu periode waktu tertentu. Percepatan akan selalu berubah sepanjang jarak yang ditempuh, Persamaan percepatan vibrasi dapat dinyatakan dengan:

$$Acceleration (mm/s^2) = - (2\pi f)^2 A \sin(2\pi ft) \quad (2.5)$$

Dijelaskan juga bahwa adanya percepatan maka akan ada perlambatan (percepatan negatif), sehingga percepatan dan perlambatan terjadi jika kecepatan benda berubah.

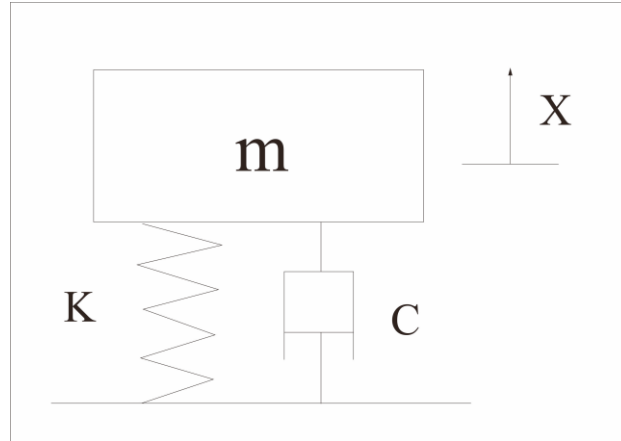
2.4 Vibrasi pada transformtor

Transformator selalu bergetar ketika beroperasi. Pada pengoperasian normal, vibrasi utama transformator dibangkitkan oleh suatu gaya yang muncul dari *winding* dan *core* [13], serta hanya beberapa dari peralatan pendingin. Menurut hasil studi/penelitian [14], frekuensi vibrasi dibawah 100Hz disebabkan oleh kipas pendingin dan pompa minyak. Vibrasi yang terjadi dengan rentang frekuensi di atas 1000 Hz dapat disebabkan oleh elemen–elemen (unsur) yang lain selain *winding* dan *core*.

2.4.1 Vibrasi *winding*

Vibrasi pada *winding* disebabkan oleh gaya elektrodinamika (Lorenz) dimana terjadinya perbedaan arah pada aliran (kerapatan) arus *winding* dengan kerapatan *fluks* bocor [12], adapun pada keduanya adalah fungsi dari pembebanan arus maka total gaya Lorenz bersifat kuadratik fungsi arus. Disebutkan juga [4], bahwa dengan mengabaikan ketidak linieran (non linier) vibrasi pada *winding* maka percepatan perpindahan vibrasi (α) sebanding dengan kuadrat arus (i^2).

Pada frekuensi arus fundamental 50Hz, frekuensi vibrasinya menjadi dua kali dari frekuensi arus, yaitu 100 Hz. Pada persamaan (2.6) diperoleh berdasarkan pemodelan vibrasi *winding* yang mengadopsi dari sistem komponen utama syarat terjadinya vibrasi mekanik, yakni massa (m), pegas (k) dan redaman (c) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Komponen utama terjadinya vibrasi mekanik

Studi vibrasi pada tangki transformator tersebut menjelaskan bahwa konduktor dianggap sebagai fungsi massa dan bahan isolasi, celah diantara dua *winding* dianggap sebagai fungsi pegas, serta fungsi redamannya adalah minyak oli. Persamaan diferensial perpindahan vibrasi (x) dirumuskan berdasarkan gaya elektrodinamik yang diberikan pada persamaan (2.6).

$$mx'' + cx' + kx = f \quad (2.6)$$

Sehingga dapat diasumsikan bahwa gaya elektrodinamika pada *winding* (f) proporsional (sebanding) dengan kuadrat arus (i^2). Dengan menganggap nilai K adalah konstan, dimana $\alpha(t) = x''(t)$ dan $i(t) = \sqrt{2} I \cos(\omega t + \theta)$ maka fungsi persamaan gaya elektrodinamika menjadi seperti pada persamaan (2.7) dan hubungan percepatan perpindahan vibrasinya pada persamaan (2.8).

$$f \propto i^2, f = KI^2 [\cos(2\omega t + 2\theta) + 1] \quad (2.7)$$

$$\alpha(t) = KI^2 \cos(2\omega t + 2\theta + \varphi) \quad (2.8)$$

Vibrasi yang ditimbulkan oleh fenomena pada *winding* disaat kondisi transformator beroperasi normal tidaklah terlalu signifikan, namun akan berarti bila pada saat kondisi abnormal (beberapa jenis kegagalan).

2.4.2 Vibrasi *core*

Vibrasi pada *core* disebabkan oleh proses dari gaya magnetostriksi (*magnetostriction*) [15]. Sebelum membahas lebih lanjut terkait vibrasi *core*, terlebih dahulu pentingnya memahami gejala utama dari peristiwa magnetostriksi.

Pada pembahasan tentang permeabilitas bahan magnetik (kemampuan menghantarkan garis gaya magnetik/ggm), dapat dijelaskan bahwa gejala magnetostriksi (dimagnetisasi) adalah berubahnya bentuk/ukuran/dimensi dari jenis suatu bahan (ferromagnetik) yang terletak pada medan magnet.

Peristiwa magnetostriksi yang terjadi pada transformator adalah terjadinya perubahan dari dimensi laminasi inti (*core*) yang terbuat dari bahan ferromagnetik. Hal ini dikarenakan perubahan orientasi material kristal untuk medan magnet. Gaya magnetostriksi ini memiliki frekuensi fundamental sebesar 120 Hz, yakni dua kali dari frekuensi yang dibangkitkan (60 Hz). Sumber dari vibrasi *core* dapat diakibatkan oleh celah udara (*air gap*) yang dihasilkan dari tolakan magnetik diantara laminasi.

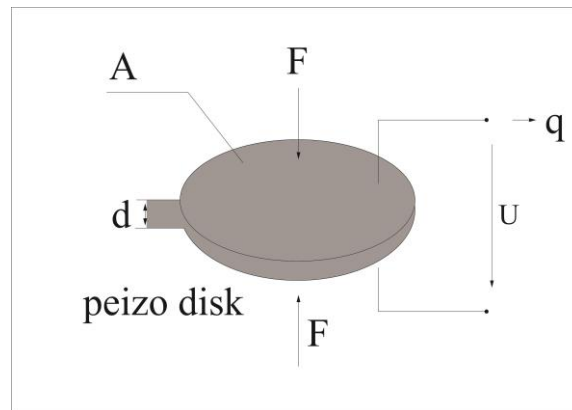
Dijelaskan pada hasil studi lain [2], bahwa percepatan dari vibrasi *core* sebanding dengan kuadrat amplitudo tegangan, dengan frekuensi dasarnya adalah 100 Hz.

2.5 Sensor pendeteksi vibrasi

Sensor vibrasi memegang peranan penting dalam kegiatan pemantauan yang terkait dengan vibrasi dikarenakan penempatannya terletak di luar/depan dari proses pemantauan vibrasi mesin. Secara konsep dari cara kerja sensor vibrasi yaitu mengubah besaran sinyal vibrasi fisik menjadi sinyal vibrasi analog berupa tegangan listrik, sehingga dapat memudahkan dalam pengolahan data vibrasi secara elektrik. Jenis sensor vibrasi yang dapat digunakan untuk analisis vibrasi pada mesin adalah memanfaatkan efek dari elemen *piezoelectric*, dikarenakan arsitekturnya yang sederhana dan memiliki nilai konversi yang besar [16].

2.5.1 Piezoelectric

Piezoelectric adalah suatu elemen (keramik, polimer atau kristal) yang dapat membangkitkan potensial listrik akibat dari adanya tekanan mekanik yang diberikan. Adapun pemanfaatan dari efek *piezoelectricity* apabila medan listrik yang terbentuk ketika material tersebut diberikan tekanan mekanik. Tegangan dan arus yang dapat dihasilkan oleh material *Piezoelectric* berbanding lurus dengan gaya yang didapatkan dan berbanding terbalik dengan luas area bidangnya [17].



Gambar 2.3 Mekanisme kerja *piezoelectric*

$$q = d_{33}F \quad (2.9)$$

$$u = \frac{d_{33}d}{e_{33}A} F \quad (2.10)$$

Dengan,

Q = Muatan arus (Ampere/s)

F = Gaya (N)

d_{33} = Konstanta *charge piezoelectric* (pC/N)

u = Tegangan keluaran *piezoelectric* (Volt)

d = Ketebalan *piezoelectric* (mm)

d_{33} = Konstanta Tegangan *piezoelectric* (mV.m/N)

A = Luas penampang *piezoelectric* (m²)

2.6 Arduino mega 2560

Arduino adalah salah satu *platform* rancang bangun (*prototyping*) elektronik *open source* yang dapat digunakan untuk membuat objek elektronika sesuai dengan kebutuhan. Arduino mega adalah mikrokontroler berbasis *chip* ATmega 2560 yang memiliki jumlah pin I/O yang lebih banyak dan memori yang lebih dari generasi pendahulunya[18]. Didukung dengan *software* arduino IDE untuk proses *coding* program maka arduino mega siap untuk digunakan. mikrokontroler ini sangat sesuai apabila dibutuhkan jumlah sensor yang banyak dalam satu mikrokontroler untuk kebutuhan riset.


```
void setup() {  
    // put your setup code here, to run once:  
  
}  
  
void loop() {  
    // put your main code here, to run  
    repeatedly:  
  
}
```

Gambar 2.4 Lembar kerja awal memulai pemrograman pada *software* arduino IDE

2.7 NetBeans IDE

NetBeans IDE adalah *software open source* [19], untuk *coding* program, dengan tanpa batasan bagaimana digunakan sesuai dengan kebutuhan user. Penggunaan *software* ini dibutuhkan untuk melengkapi perangkat lain yang tidak dapat melakukan *interfacing* data berupa grafik maupun kebutuhan riset lainnya. Penggunaan *software* netbeans IDE pada penelitian ini untuk proses *record* dan kalibrasi data sensor vibrasi *piezoelectric* yang terkoneksi secara langsung dengan mikrokontroler arduino mega 2560. Pada lembar kerja dari *software* netbeans IDE tersebut, proses pembacaan data vibrasi dapat terintegrasi dengan mikrokontroler sehingga memudahkan untuk proses kalibrasi dan perekaman data vibrasi pada PC.

```

/*
    * To change this license header, choose License
      Headers in Project Properties.
    * To change this template file, choose Tools |
      Templates
    * and open the template in the editor.
*/

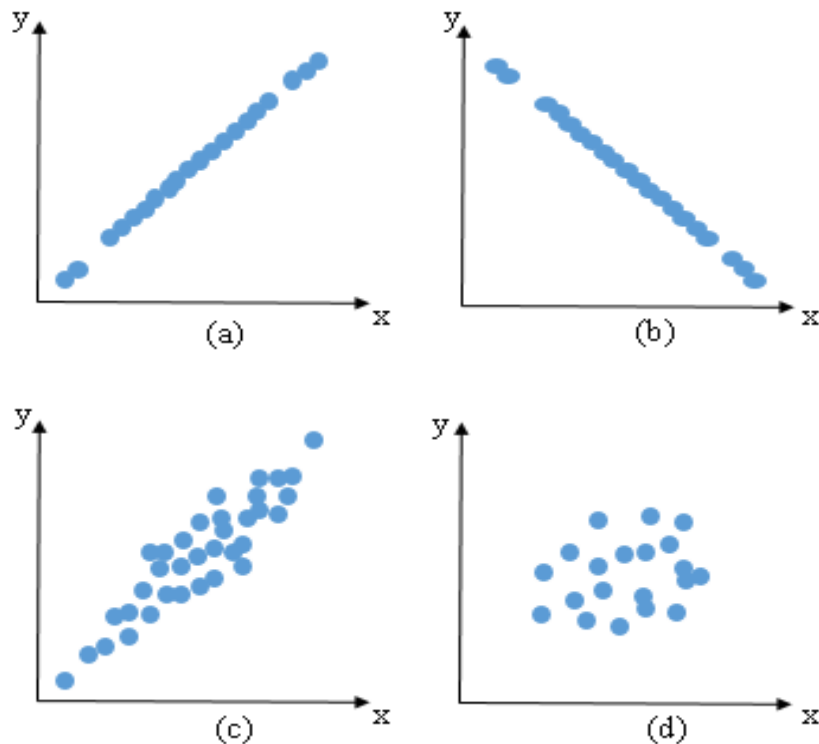
/**
 *
 * @author TAURUSKI
 */
public class NewClass {
}

```

Gambar 2.5 Lembar kerja awal memulai pemrograman java pada *software* netbeans

2.8 Analisis korelasi

Korelasi adalah suatu istilah yang digunakan untuk mengetahui ada atau tidak adanya hubungan antara variabel atau data yang dibandingkan. Analisis korelasi adalah suatu metode untuk memperoleh hubungan linier dari variabel yang dibandingkan sehingga dapat diketahui perubahan – perubahan yang terjadi pada salah satu variabel memiliki dampak pada perubahan yang terjadi pada variabel pembanding atau bahkan tidak memiliki dampak. Adapun acuan yang digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya korelasi pada pasangan variabel dapat diketahui dari bentuk pola persebaran data [20], dari titik – titik koordinat yang dinyatakan pada sumbu x dan y adalah sebagai berikut :



Gambar 2.6 korelasi positif sempurna (a), korelasi negatif sempurna (b), korelasi positif kuat (c), tidak berkorelasi (d)

Dari Gambar 2.6 menunjukkan bentuk pola persebaran data dengan masing – masing kategori korelasinya. Korelasi positif terjadi apabila peningkatan nilai pada variabel x akan diikuti juga dengan peningkatan nilai dari variabel y (pergerakan dari kiri bawah menuju kanan atas) sedangkan korelasi negatif adalah lawannya, yakni peningkatan nilai variabel x diikuti oleh penurunan variabel y (pergerakan dari kiri atas menuju kanan bawah). Adapun nilai variabel yang tidak memiliki pola pergerakan (acak) maka dapat diindikasikan bahwa antara variabel yang diujikan tidaklah memiliki korelasi.

2.8.1 *Pearson product moment correlation*

Korelasi *pearson* atau biasa disebut dengan koefisien korelasi linier adalah koefisien korelasi (r) yang digunakan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan linier dua variabel yang akan dibandingkan. Dijelaskan [20], bahwa *Pearson product moment correlation* diperkenalkan oleh Galton (1877) dan dikembangkan oleh Pearson yang kemudian digunakan untuk data kontinu dan data diskrit yang

sesuai digunakan untuk statistik parametrik (data berjumlah besar dan memiliki ukuran parameter) dengan data variasi. Berbeda dengan koefisien korelasi Rank Spearman yang digunakan untuk data kontinu dan diskrit namun nonparametrik (data tidak memiliki informasi parameter/tidak berdistribusi normal/data diukur dalam bentuk ranking) yang sesuai untuk data dengan sampel kecil.

Hasil dari perhitungan korelasi pearson berada pada rentang -1 hingga +1 dimana apabila semakin mendekati nilai 1 / -1 hubungan keduanya makin erat, sedangkan jika mendekati 0 maka hubungan keduanya semakin lemah (rendah). Berikut tabel klasifikasi nilai koefisien korelasi (r) pearson:

Tabel 2-1 Nilai koefisien dan korelasi (r) terhadap arah dan kekuatan korelasi.

Nilai Koefisien Korelasi (r)	Arah dan Kekuatan Korelasi
-1.0	Sempurna
-0.8	Kuat
-0.5	Cukup
-0.2	Lemah
0.0	Tidak ada korelasi
+0.2	Lemah
+0.5	Cukup
+0.8	Kuat
+1.0	Sempurna

Tanda positif dan negatif menunjukkan arah korelasi, positif apabila kedua variabel memiliki arah yang sama baik kenaikan maupun penurunan dan negatif apabila kedua variabel memiliki arah yang berlawanan. Berikut adalah rumus koefisien korelasi (r):

$$r(x, y) = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}} \quad (2.12)$$

Dimana,

n = Banyaknya pasang data x dan y

$(\sum x)$ = Total jumlah dari variabel x

$(\sum y)$ = Total jumlah dari variabel x

$\sum x^2$ = Kuadrat dari total jumlah variable x

$\sum y^2$ = Kuadrat dari total jumlah variable y

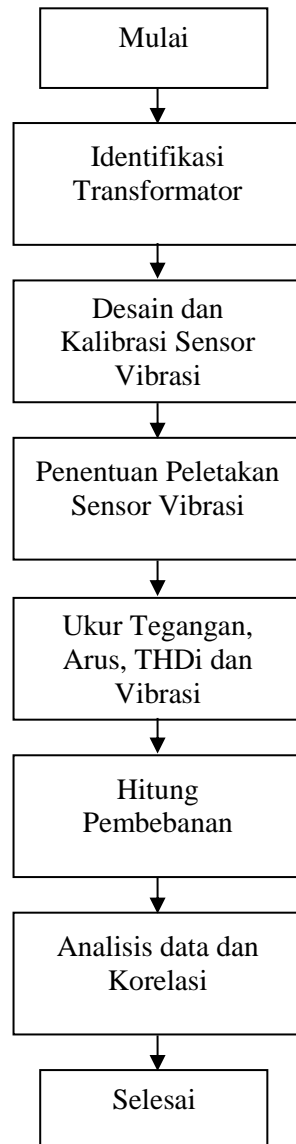
$(\sum xy)$ = Hasil perkalian dari total jumlah variabel x dan variabel y

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini disajikan pada blok diagram sebagai berikut :



Gambar 3.1 Blok diagram tahapan penelitian

3.1 Identifikasi transformator

Sebelum memulai penelitian, hal utama yang harus dilakukan adalah menentukan jenis dari transformator distribusi yang akan digunakan, adapun

transformator distribusi yang akan diujikan berada pada lingkungan kampus ITS, Surabaya yang terletak di dalam gardu. Selanjutnya menentukan transformator distribusi yang memiliki kemungkinan besar untuk dapat dipasang sensor vibrasi pada tangki transformator tersebut.

Berikut adalah spesifikasi dan bentuk fisik dari transformator distribusi yang diujikan adalah sebagai berikut:

Tabel 3-1 Transformator distribusi yang diujikan pada penelitian

Spesifikasi	Pabrikan	Merek	Tahun Pembuatan	Jumlah	Lokasi Gardu
20 kV/630 kVA/ 3 fasa	SIEMENS	<i>Trafo-union</i>	1981	1	SS4
20 kV/800 kVA/3 fasa	PT. TRAFINDO PERKASA	TRAFINDO	1997	1	Teknik Sipil



(a)



(b)

Gambar 3.2 Bentuk fisik transformator distribusi 20 kV/630 kVA(a), Bentuk fisik transformator distribusi 20 kV/800 kVA(b)

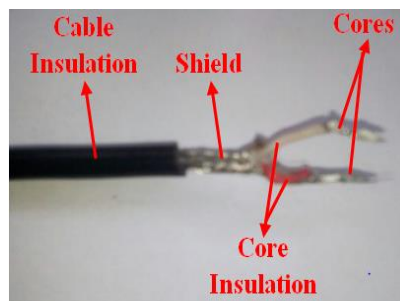
3.2 Desain dan kalibrasi sensor vibrasi

Dengan mempertimbangkan bentuk fisik dari tangki transformator distribusi yang akan diujikan, Jenis dari sensor vibrasi yang digunakan adalah *piezoelectric disk* dengan diameter 20 mm seperti yang disajikan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Piezoelectric disk* 20 mm.

Pemilihan diameter tersebut menyesuaikan dengan lebar celah antar sirip bodi di bagian terluar pada tangki transformator sehingga elemen *piezoelectric* dapat diletakkan pada permukaan datar tangki transformator.



Gambar 3.4 Kabel instrumen stereo (*double core*)

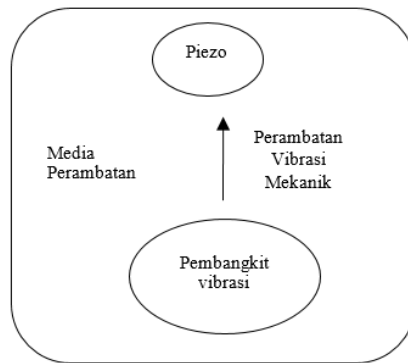
Pemilihan kabel stereo untuk instrumen (*double core*) telah ditentukan sebagai media transmisi daya (tegangan) dari sumber penghasil tegangan elemen *piezoelectric disk* ke media penerima tegangan yakni mikrokontoler. Pemilihan kabel instrumen didasarkan pada kemampuannya dalam mengurangi *losses* transfer daya dari sumber menuju objek dan mengurangi gangguan interferensi elektromagnetik dari luar sistem yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran.



Gambar 3.5 Desain sensor vibrasi menggunakan elemen *piezoelectric*

3.2.1 Simulasi sistem vibrasi mekanik

Media yang dapat membuat simulasi fenomena terjadinya vibrasi mekanik sangat diperlukan untuk pengujian dan kalibrasi sensor vibrasi (*piezo*) dengan alat ukur *vibration meter tester* sebagai pembanding.



Gambar 3.6 Desain simulasi untuk vibrasi mekanik dan kalibrasi

Pembangkit vibrasi yang dipilih adalah motor vibrator 3 VDC yang biasa digunakan pada *handphone*. Tujuan pemilihan motor dengan voltase rendah tersebut agar sensor vibrasi yang dibuat memiliki sensitifitas untuk merespon vibrasi mekanik pada intensitas (amplitudo) yang kecil.

Sensor *piezo* yang berjumlah 9 buah diletakkan bersama dengan *vibration meter tester* pada media perambatan ketika motor vibrator digetarkan. Masing - masing dari sensor *piezo* akan mengeluarkan nilai ADC pada mikrokontroler arduino mega 2560 untuk selanjutnya dikalibrasi dengan nilai keluaran akselerasi dan kecepatan yang terbaca pada alat ukur *vibration meter tester*.



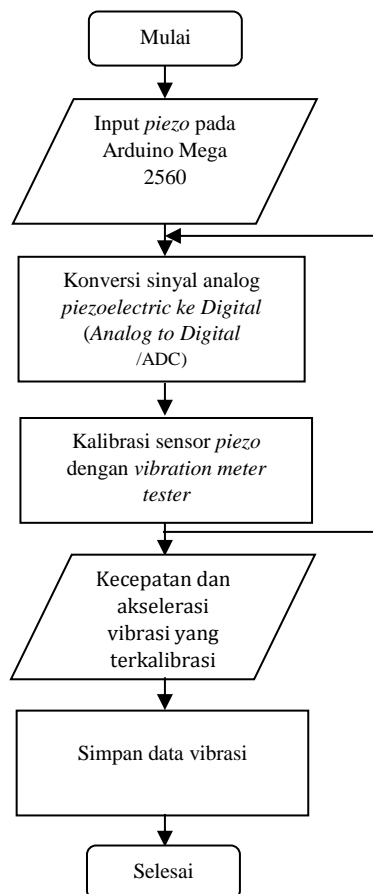
Gambar 3.7 Lutron vb - 8200 vibration meter tester

3.2.2 Sistem konversi dan kalibrasi

Ketika motor *vibrator* bergetar maka terjadi perambatan vibrasi dari sumber menuju objek (*piezoelectric*), elemen *piezoelectric disk* akan menerima gaya gerak mekanik dan menyebabkan timbulnya tegangan ggl, masing-masing dari sensor vibrasi akan mengeluarkan nilai berupa sinyal analog tegangan. Nilai ini diubah ke dalam bentuk digital pada mikrokontroler arduino mega 2560. Dari nilai digital tegangan selanjutnya dikonversi ke dalam satuan kecepatan dan akselerasi (vibrasi) dengan mengacu pada nilai pembacaan *vibration meter tester* lutron vb - 8200. Tingkat kesalahan (% *error*) pengukuran vibrasi dapat dihitung menggunakan persamaan 3.1.

$$\%error = \frac{|\text{nilai sensor} - \text{nilai acuan}|}{\text{nilai acuan}} \times 100\% \quad (3.1)$$

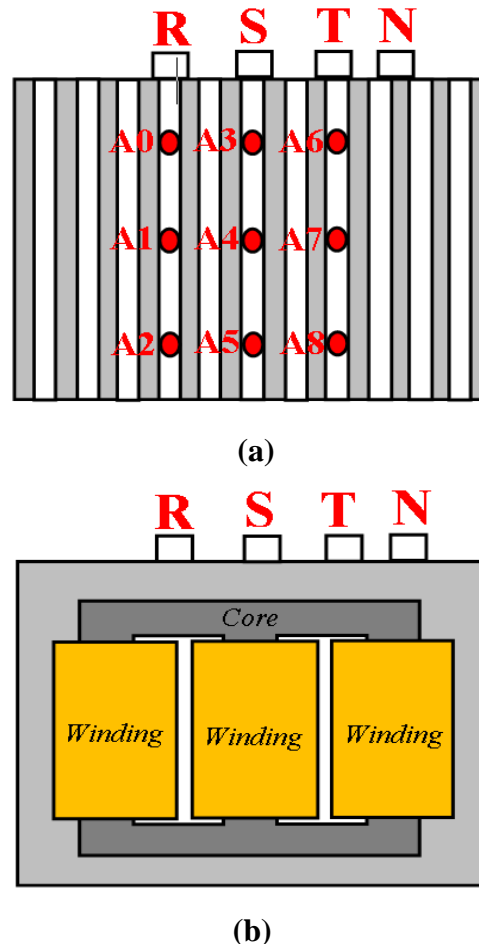
Berikut disajikan *flowchart* dari sistem konversi dan kalibrasi



Gambar 3.8 *Flowchart* sistem kalibrasi

3.3 Penentuan daerah peletakan sensor vibrasi pada tangki transformator distribusi 20 kV

Peletakan sensor vibrasi beserta struktur internal posisi *winding* dan *core* dari transformator distribusi 20 kV disajikan pada Gambar 3.9.

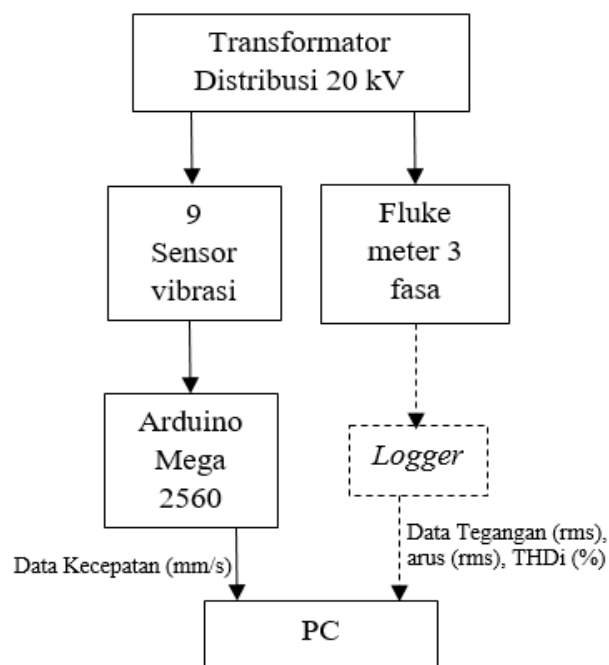


Gambar 3.9 Peletakan sensor vibrasi menggunakan elemen *piezoelectric* pada tangki transformator distribusi 20 kV di sisi sekunder (a), Ilustrasi truktur internal posisi *winding* dan *core* transformator distribusi 20 kV(b)

Asumsi awal peletakan sensor vibrasi adalah berdasarkan referensi penelitian yang telah ada dan menyesuaikan dengan ketersediaan sensor vibrasi yang telah didesain. Sensor vibrasi diletakkan tegak lurus di tiap fasa R, S dan T kemudian diposisikan sedemikian rupa sehingga dapat menjangkau struktur datar tangki transformator distribusi serta dapat mewakili daerah yang dekat dengan sumber internal penyebab terjadinya vibrasi pada transformator yakni *winding* dan *core*.

3.4 Pengukuran pembebanan

Pengukuran vibrasi dilakukan menggunakan sensor vibrasi menggunakan elemen *piezo* sebanyak 9 buah dengan keluaran berupa nilai kecepatan (mm/s) vibrasi sedangkan pengukuran tegangan, arus berupa nilai rms guna perhitungan nilai pembebanan selama pengukuran dan THD dalam % dilakukan dengan alat ukur fluke meter 3 fasa yang dipasang pada sisi sekunder transformator distribusi 20 kV yang dilakukan secara bersamaan tiap 1 detik selama ± 24 jam. Berikut blok diagram pengambilan data tegangan, arus, THDi dan vibrasi disajikan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Blok diagram pengukuran tegangan, arus, THDi dan vibrasi pada transformator distribusi 20 kV.

3.5 Hitung pembebanan transformator dan analisis

Data yang telah diperoleh selama pengukuran, selanjutnya dihitung nilai pembebanan pada masing - masing transformator distribusi 20 kV. Selanjutnya data dianalisis untuk diketahui pengaruh pembebanan terhadap posisi peletakan sensor vibrasi dan masing - masing nilai korelasinya menguunakan metode pendekatan pearson.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini membahas mengenai hasil kalibrasi sensor vibrasi *piezoelectric*, pengukuran vibrasi, arus, dan THDi pada masing - masing transformator distribusi 20 kV tiap 1 detik selama ± 24 jam serta analisis dampak pembebanan terhadap peletakan ke - 9 sensor vibrasi pada tangki transformator distribusi 20 kV dan korelasi.

4.1 Kalibrasi sensor vibrasi menggunakan elemen *piezoelectric*

Berikut disajikan hasil kalibrasi dari ke - 9 sensor vibrasi *piezoelectric* dengan pembanding alat ukur *vibration meter tester*.

Tabel 4-1 Hasil kalibrasi pengukuran sensor vibrasi A0-A4 dengan *vibration meter tester*

Waktu (detik)	Rata-rata Kecepatan (mm/s)					<i>Vibration Meter tester</i>	Keterangan
	A0	A1	A2	A3	A4		
30	112	115,34	117,79	120,15	120,15	0,2	Normal
60	113,68	116,89	117,30	120,21	121,69	0,2	Normal
90	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,2	Terkalibrasi
120	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,2	Terkalibrasi
150	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,2	Terkalibrasi
180	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,2	Terkalibrasi
210	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,2	Terkalibrasi
240	0,24	0,24	0,25	0,24	0,25	0,2	Terkalibrasi
270	0,24	0,24	0,25	0,24	0,25	0,2	Terkalibrasi
300	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,2	Terkalibrasi
330	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,2	Terkalibrasi

Tabel 4-2 Data kalibrasi pengukuran sensor vibrasi A5-A8 dengan *vibration meter tester*

Waktu (detik)	Rata-rata Kecepatan (mm/s)					Keterangan
	A5	A6	A7	A8	<i>Vibration Meter tester</i>	
30	121,22	123,98	121,73	121,75	0,2	Normal
60	121,05	122,90	122,14	122,25	0,2	Normal
90	0,24	0,25	0,25	0,24	0,2	Terkalibrasi
120	0,24	0,25	0,25	0,24	0,2	Terkalibrasi
150	0,24	0,25	0,25	0,24	0,2	Terkalibrasi
180	0,23	0,24	0,24	0,25	0,2	Terkalibrasi
210	0,23	0,24	0,24	0,25	0,2	Terkalibrasi
240	0,24	0,25	0,25	0,24	0,2	Terkalibrasi
270	0,24	0,25	0,25	0,24	0,2	Terkalibrasi
300	0,24	0,25	0,25	0,24	0,2	Terkalibrasi
330	0,24	0,25	0,25	0,24	0,2	Terkalibrasi

Pada Tabel 4-1 dan Tabel 4-2 menyajikan data nilai vibrasi pada masing-masing sensor dengan pembandingan/acuan alat ukur *vibration meter tester* sebelum dan sesudah terkalibrasi. Pada detik 0 - 60 sensor vibrasi memiliki nilai rata-rata pengukuran 100 - 121 mm/s yang berbeda dengan hasil pengukuran alat ukur acuan yakni 0,2 mm/s.

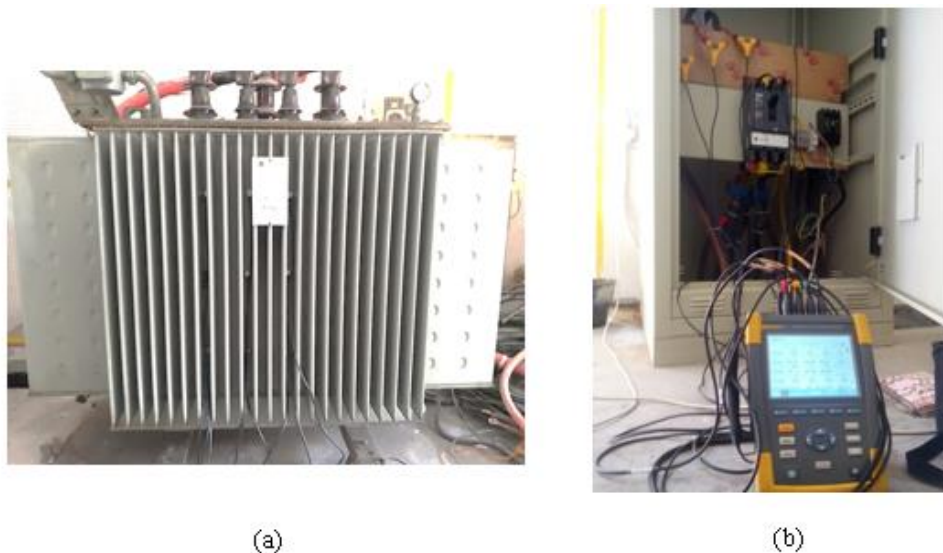
Kalibrasi dilakukan mulai pada detik 90 dengan menambahkan faktor kalibrasi pada perhitungan (*listing* program pada lampiran) yang membuat nilai akhir pengukuran mendekati nilai alat ukur acuan. Dengan menggunakan persamaan 3.1 maka dapat diketahui % kesalahan (*error*) pengukuran vibrasi sebesar $\pm 17,2 \%$, yang disajikan pada Tabel 4-3.

Tabel 4-3 Rata - rata % kesalahan (*error*) pengukuran sensor vibrasi terhadap alat ukur *vibration meter tester*

		Waktu (detik)									Rata-rata	% <i>error</i>
		30	60	90	120	150	180	210	240	270		
Sensor Vibrasi (mm/s)	A0	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,24	0,24	16,67
	A1	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,24	0,24	17,05
	A2	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,24	0,25	0,25	0,24	0,24	17,43
	A3	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,24	0,24	0,25	0,24	16,28
	A4	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,24	0,24	0,25	0,24	16,67
	A5	0,24	0,24	0,25	0,24	0,25	0,24	0,25	0,25	0,24	0,24	18,18
	A6	0,24	0,24	0,25	0,24	0,25	0,24	0,25	0,25	0,24	0,24	18,18
	A7	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,24	0,25	0,25	0,24	0,24	17,43
	A8	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,24	0,24	17,05
<i>Vibration Meter Tster</i>		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
Rata – rata % <i>error</i>												17,22

4.2 Data pengukuran arus dan THDi terhadap pembebanan transformator distribusi 20 kV

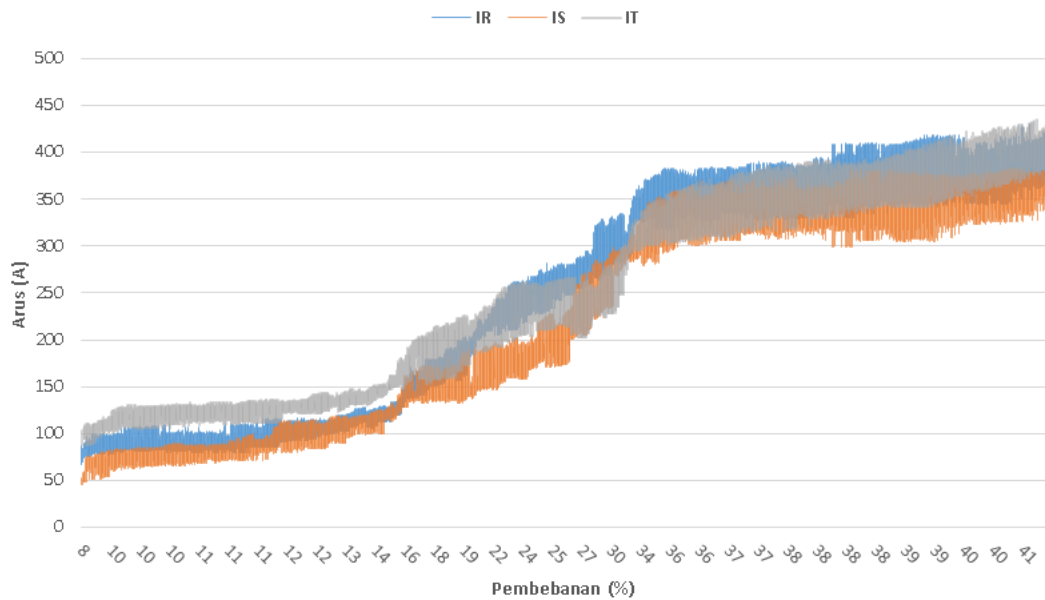
Gambar 4.1 menampilkan lokasi peletakan ke - 9 sensor vibrasi pada tangki transformator distribusi 20 kV/630 kVA dan pengambilan data arus pada panel kubikal sisi sekunder.



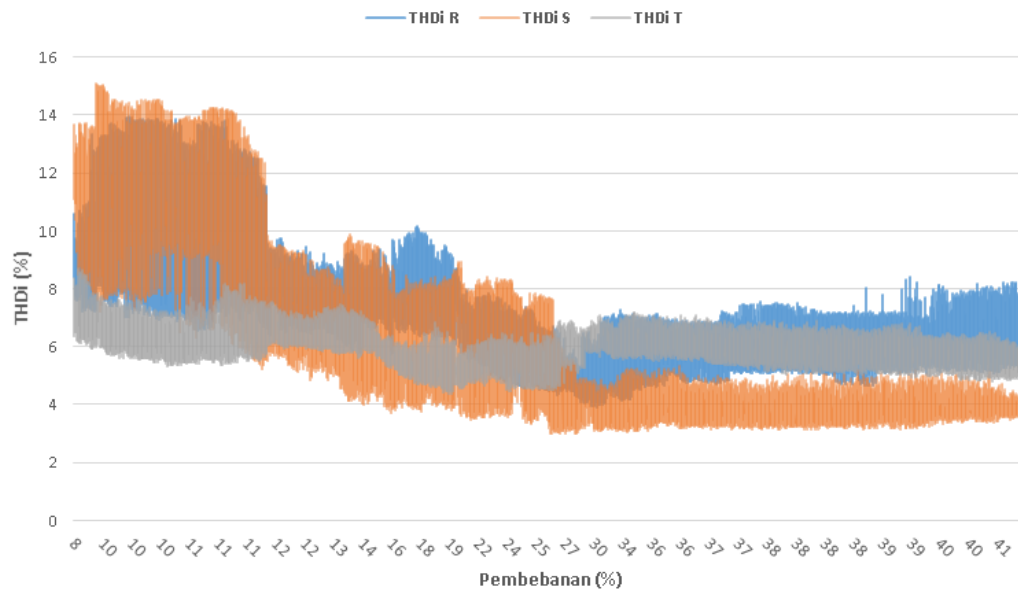
Gambar 4.1 Peletakan sensor vibrasi di sisi sekunder pada tangki transformator distribusi 20 kV/630 kVA (a), Pengambilan data pembebanan pada kubikal transformator distribusi 20 kV menggunakan fluke meter 3 fasa (b)

Berikut disajikan grafik data pengukuran arus terhadap pembebanan dari masing – masing transformator distribusi 20 kV selama pengukuran berlangsung:

1. Transformator distribusi 20 kV/630 kVA di gardu SS4

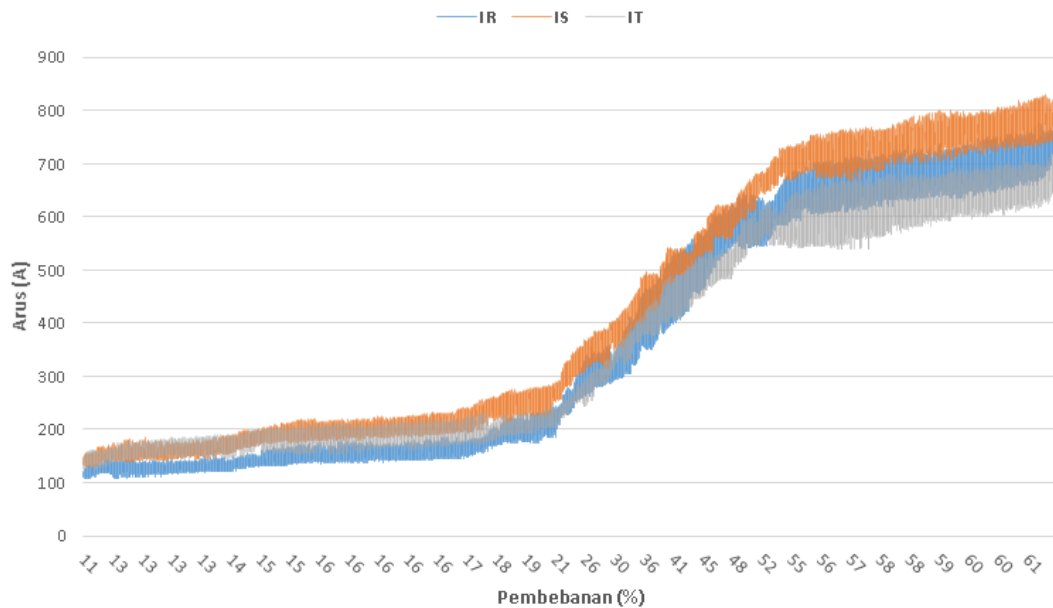


Gambar 4.2 Grafik data arus (Irms) terhadap pembebanan transformator distribusi 20 kV/630 kVA pada gardu ss4

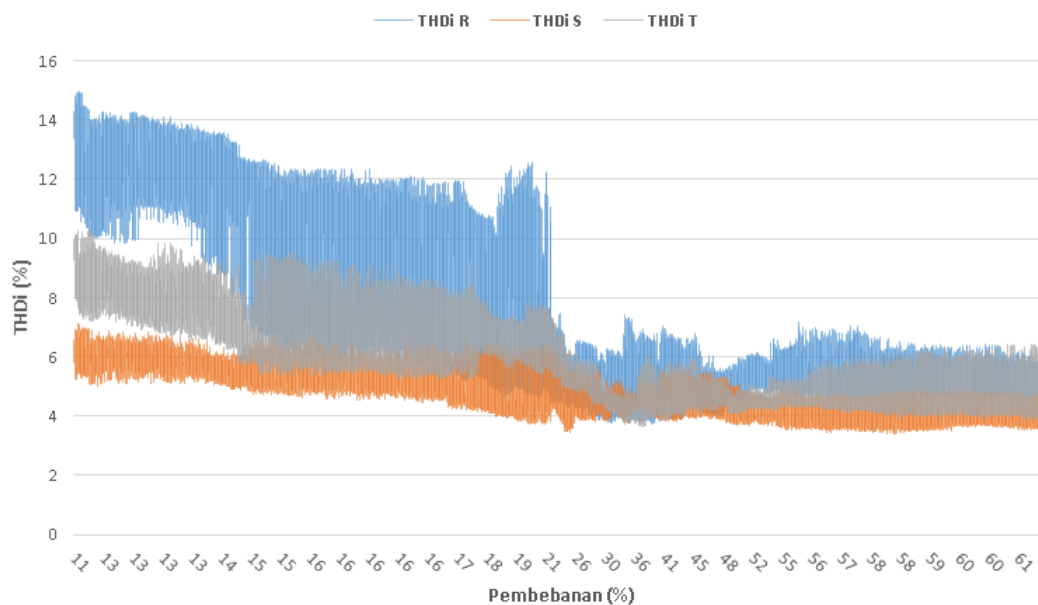


Gambar 4.3 Grafik data THDi R, THDi S, THDi T terhadap pembebanan transformator distribusi 20 kV/630 kVA pada gardu ss4

2. Transformator distribusi 20 kV/800 kVA di gardu teknik sipil



Gambar 4.4 Grafik data arus (Irms) terhadap pembebanan transformator distribusi 20 kV/800 kVA pada gardu teknik sipil



Gambar 4.5 Grafik data THDi R, THDi S, THDi T terhadap pembebanan transformator distribusi 20 kV/800 kVA pada gardu teknik sipil

Pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.4 menunjukkan bahwa semakin meningkatnya arus pada ke dua transformator maka pembebanan akan semakin meningkat, sedangkan pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.5 menunjukkan pembebanan yang dimulai pada kisaran $\pm 20\%$ hingga mencapai beban puncaknya

nilai % THDi cenderung konstan. Hal ini dikarenakan pengambilan data baik arus maupun THDi pada ke dua transformtor dilakukan pada kondisi pembebanan yang tidak dapat dikontrol.

4.3 Dampak pembebanan terhadap posisi peletakan 9 sensor vibrasi pada tangki transformator distribusi 20 kV

Hasil pengukuran pembebanan terhadap posisi peletakan 9 sensor vibrasi pada masing - masing tangki transformator distribusi 20 kV akan di sajikan dalam bentuk data nilai maksimum, rata - rata dan minimum adalah sebagai berikut:

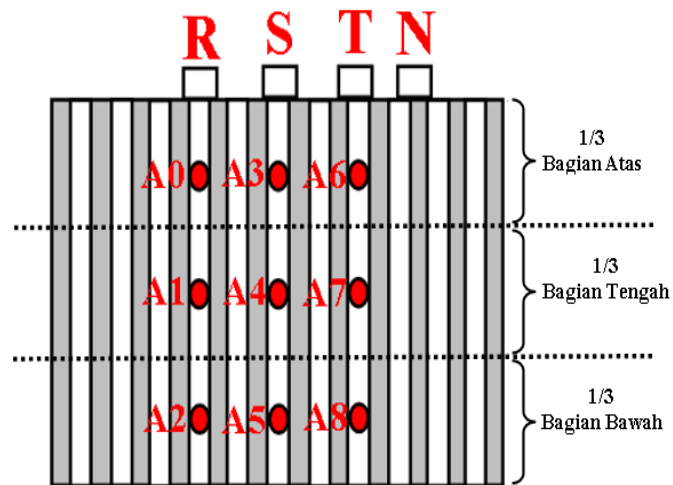
Tabel 4-4 Data nilai maksimum, rata - rata dan minimum pengukuran vibrasi terhadap pembebanan pada transformator distribusi 20 kV/630 kVA

Kecepatan (mm/s)	Pembebanan							
	8%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	43%
max_A0	0,071	0,130	0,164	0,163	0,213	0,227	0,217	0,216
rata2_A0	0,066	0,119	0,131	0,134	0,167	0,194	0,200	0,211
min_A0	0,061	0,111	0,121	0,119	0,128	0,153	0,176	0,195
max_A1	0,171	0,198	0,202	0,203	0,204	0,271	0,214	0,211
rata2_A1	0,167	0,187	0,196	0,198	0,197	0,201	0,201	0,200
min_A1	0,163	0,174	0,183	0,182	0,189	0,193	0,191	0,197
max_A2	0,084	0,125	0,142	0,157	0,186	0,196	0,208	0,195
rata2_A2	0,070	0,108	0,115	0,116	0,140	0,161	0,178	0,188
min_A2	0,055	0,096	0,103	0,081	0,100	0,122	0,141	0,145
max_A3	0,074	0,161	0,175	0,182	0,185	0,194	0,211	0,203
rata2_A3	0,063	0,127	0,159	0,163	0,163	0,177	0,183	0,182
min_A3	0,050	0,094	0,125	0,112	0,138	0,160	0,165	0,175
max_A4	0,126	0,143	0,156	0,166	0,192	0,188	0,174	0,129
rata2_A4	0,099	0,113	0,120	0,114	0,130	0,142	0,127	0,123
min_A4	0,077	0,090	0,105	0,080	0,085	0,088	0,101	0,117
max_A5	0,122	0,208	0,221	0,230	0,275	0,318	0,394	0,331
rata2_A5	0,092	0,171	0,200	0,208	0,237	0,273	0,307	0,316
min_A5	0,059	0,122	0,170	0,179	0,201	0,230	0,261	0,272
max_A6	0,094	0,134	0,157	0,165	0,198	0,216	0,270	0,232
rata2_A6	0,085	0,123	0,139	0,154	0,167	0,190	0,217	0,226
min_A6	0,072	0,113	0,131	0,139	0,145	0,160	0,177	0,189
max_A7	0,061	0,131	0,166	0,167	0,224	0,234	0,245	0,217
rata2_A7	0,044	0,107	0,114	0,129	0,155	0,181	0,194	0,207
min_A7	0,038	0,094	0,101	0,073	0,102	0,120	0,071	0,172
max_A8	0,184	0,246	0,253	0,263	0,274	0,296	0,360	0,337
rata2_A8	0,174	0,228	0,245	0,255	0,266	0,279	0,316	0,328
min8_A8	0,168	0,204	0,231	0,236	0,254	0,268	0,271	0,278

Tabel 4-5 Data nilai maksimum, rata - rata dan minimum pengukuran vibrasi terhadap pembebanan pada transformator distribusi 20 kV/800 kVA

Kecepatan (mm/s)	Pembebanan											
	11%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	64%
max_A0	0,131	0,131	0,135	0,146	0,156	0,177	0,234	0,270	0,281	0,298	0,278	0,276
rata2_A0	0,127	0,104	0,047	0,108	0,094	0,149	0,177	0,238	0,233	0,266	0,253	0,270
min_A0	0,120	0,035	0,033	0,053	0,066	0,082	0,108	0,151	0,162	0,195	0,224	0,264
max_A1	0,074	0,075	0,083	0,086	0,092	0,095	0,101	0,103	0,107	0,113	0,119	0,121
rata2_A1	0,072	0,072	0,080	0,078	0,087	0,084	0,092	0,099	0,104	0,104	0,110	0,120
min_A1	0,070	0,067	0,070	0,071	0,075	0,079	0,086	0,093	0,100	0,095	0,101	0,119
max_A2	0,196	0,198	0,179	0,191	0,196	0,209	0,236	0,290	0,267	0,300	0,281	0,303
rata2_A2	0,176	0,169	0,140	0,175	0,181	0,200	0,218	0,258	0,247	0,263	0,253	0,287
min_A2	0,147	0,109	0,123	0,154	0,172	0,176	0,197	0,214	0,217	0,228	0,219	0,278
max_A3	0,270	0,272	0,270	0,275	0,280	0,286	0,298	0,308	0,311	0,321	0,318	0,322
rata2_A3	0,268	0,266	0,262	0,271	0,273	0,282	0,288	0,300	0,300	0,300	0,301	0,318
min_A3	0,262	0,255	0,258	0,266	0,268	0,271	0,276	0,283	0,287	0,285	0,290	0,315
max_A4	0,285	0,268	0,267	0,269	0,267	0,271	0,282	0,292	0,287	0,289	0,289	0,286
rata2_A4	0,271	0,258	0,245	0,260	0,256	0,264	0,270	0,282	0,277	0,272	0,272	0,285
min_A4	0,267	0,240	0,239	0,248	0,250	0,252	0,256	0,260	0,265	0,250	0,260	0,285
max_A5	0,292	0,296	0,300	0,308	0,317	0,320	0,330	0,334	0,340	0,362	0,427	0,354
rata2_A5	0,288	0,287	0,294	0,293	0,306	0,299	0,312	0,328	0,332	0,345	0,347	0,352
min_A5	0,278	0,272	0,280	0,284	0,284	0,290	0,298	0,318	0,326	0,337	0,336	0,350
max_A6	0,177	0,178	0,176	0,191	0,196	0,214	0,252	0,293	0,306	0,327	0,321	0,322
rata2_A6	0,172	0,159	0,137	0,173	0,163	0,195	0,216	0,269	0,278	0,302	0,295	0,310
min_A6	0,161	0,114	0,119	0,144	0,149	0,160	0,181	0,206	0,243	0,258	0,268	0,298
max_A7	0,118	0,123	0,123	0,148	0,162	0,189	0,226	0,291	0,277	0,300	0,277	0,285
rata2_A7	0,111	0,100	0,090	0,111	0,091	0,155	0,175	0,173	0,191	0,196	0,204	0,204
min_A7	0,093	0,040	0,020	0,055	0,054	0,073	0,102	0,134	0,165	0,181	0,188	0,243
max_A8	0,296	0,294	0,265	0,370	0,335	0,347	0,368	0,426	0,344	0,368	0,355	0,365
rata2_A8	0,266	0,223	0,248	0,321	0,296	0,322	0,338	0,369	0,333	0,339	0,338	0,357
min8_A8	0,242	0,173	0,224	0,258	0,270	0,283	0,289	0,308	0,316	0,299	0,300	0,351

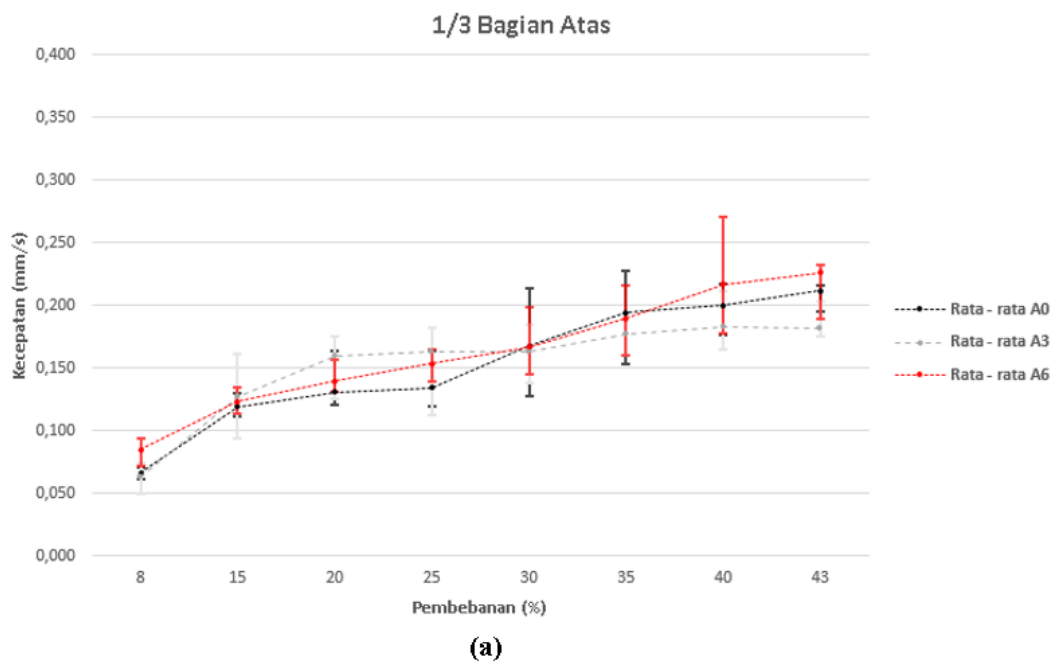
Mengacu penelitian yang telah ada dan dengan ketersediaan sensor vibrasi [5] [9], pembagian peletakan sensor vibrasi telah ditentukan. Masing - masing sensor vibrasi mewakili daerah pengukuran vibrasi pada tangki transformator distribusi 20 kV.

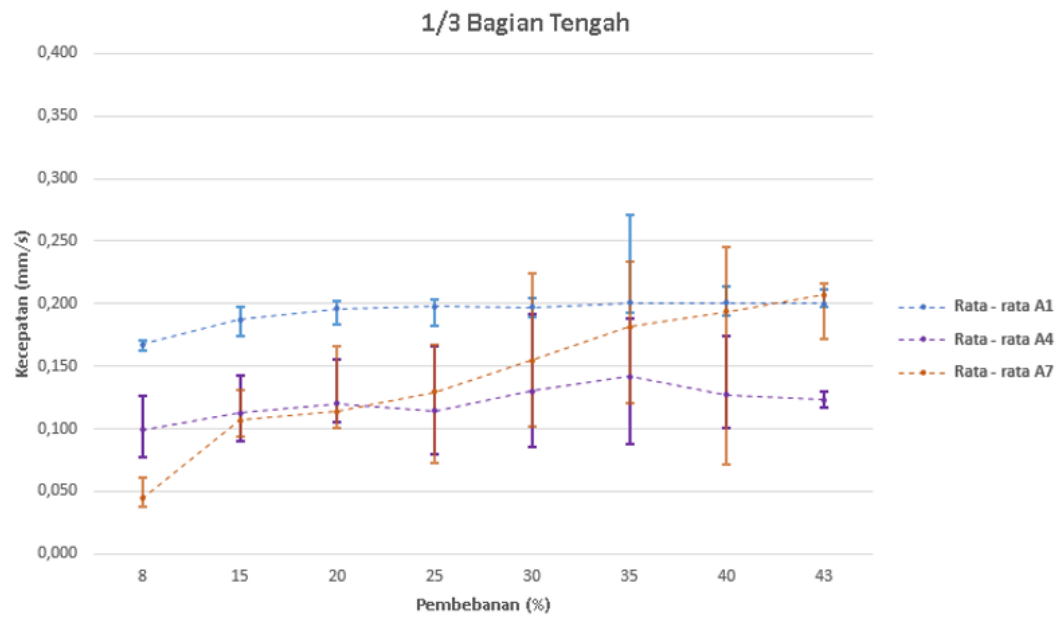


Gambar 4.6 Pembagian daerah peletakan sensor vibrasi pada tangki transformator distribusi 20 kV di sisi sekunder.

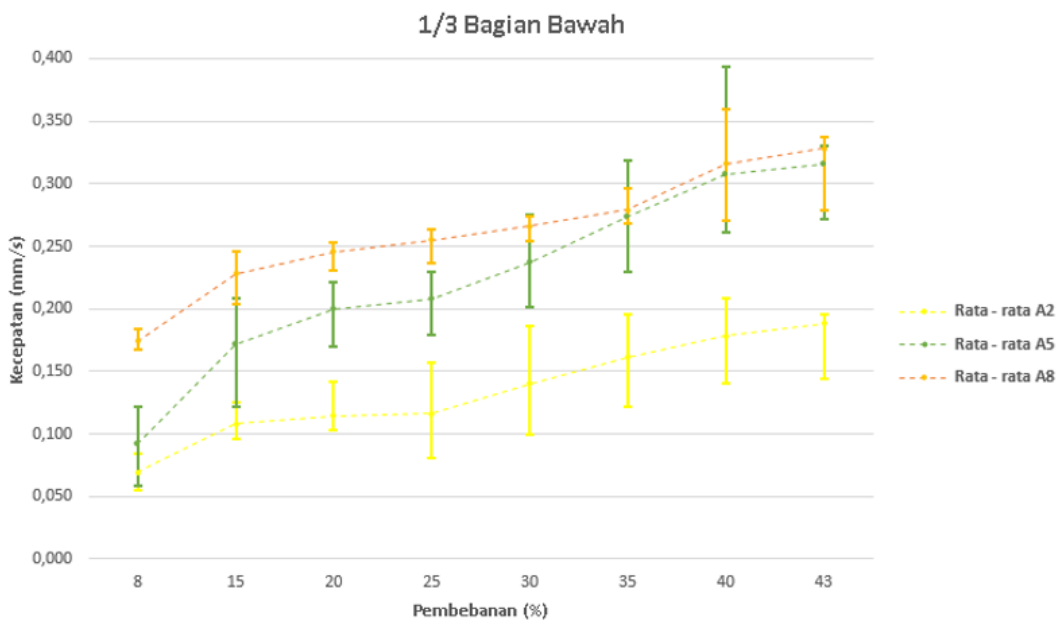
Berikut hasil grafik data pembebanan terhadap vibrasi pada masing - masing daerah pengukuran dari data yang telah disajikan pada Tabel 4-4 dan Tabel 4-5 adalah sebagai berikut:

1. Transformator distribusi 20 kV/630 kVA di gardu SS4





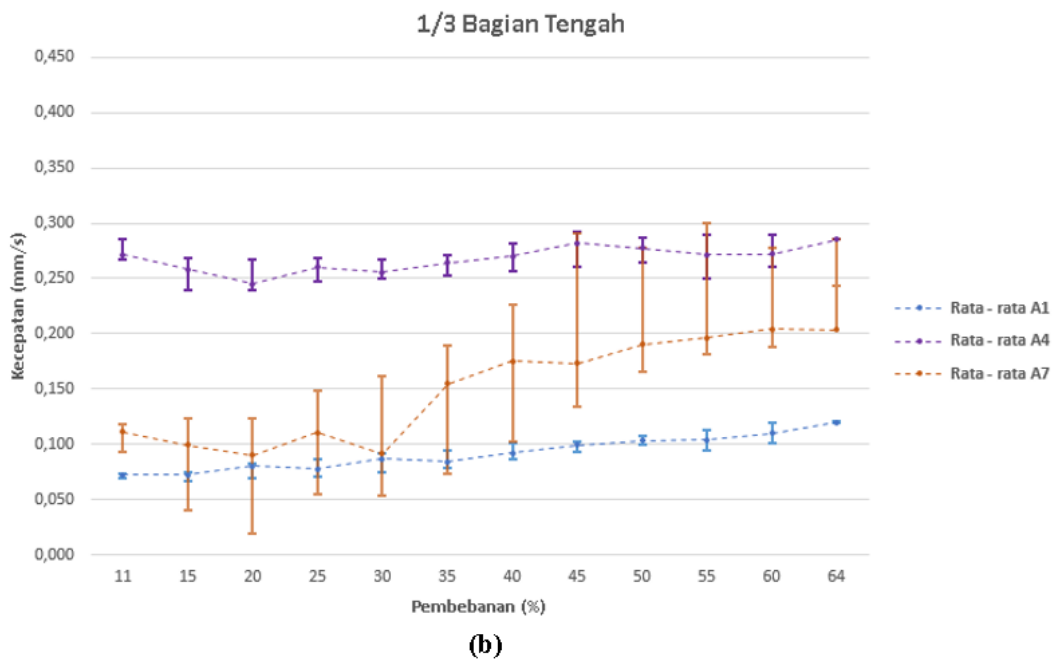
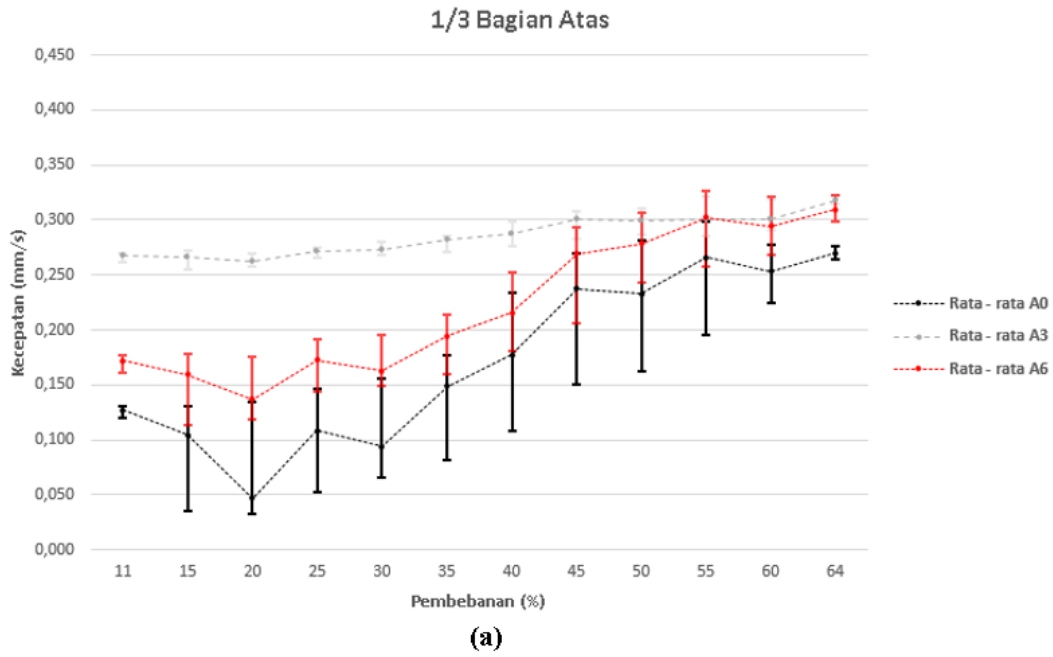
(b)

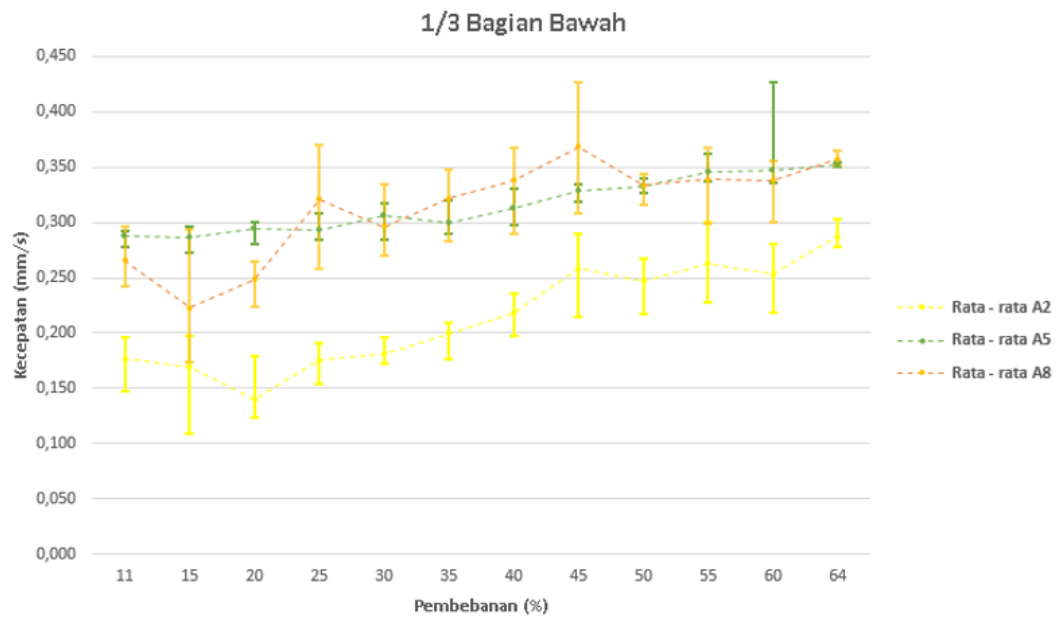


(c)

Gambar 4.7 Grafik data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian atas (a), Grafik data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian tengah (b), Grafik data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian bawah (c)

2. Transformator distribusi 20 kV/800 kVA di gardu teknik sipil





(c)

Gambar 4.8 Grafik data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian atas (a), Grafik data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian tengah (b), Grafik data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian bawah (c)

Dari hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 bahwa pengukuran vibrasi pada tangki transformator distribusi 20 kV dengan penempatan sensor di 1/3 bagian bawah (A2, A5, A8) memiliki tingkat nilai vibrasi yang lebih tinggi, kemudian pada penempatan sensor di 1/3 bagian atas (A0, A3, A6) dan yang terakhir di 1/3 bagian tengah (A1, A4, A7). Hal tersebut dapat dikarenakan adanya pengaruh dari redaman minyak transformator yang bekerja untuk mengurangi vibrasi yang ditimbulkan oleh *winding* dan *core* selama transformator beroperasi [5].

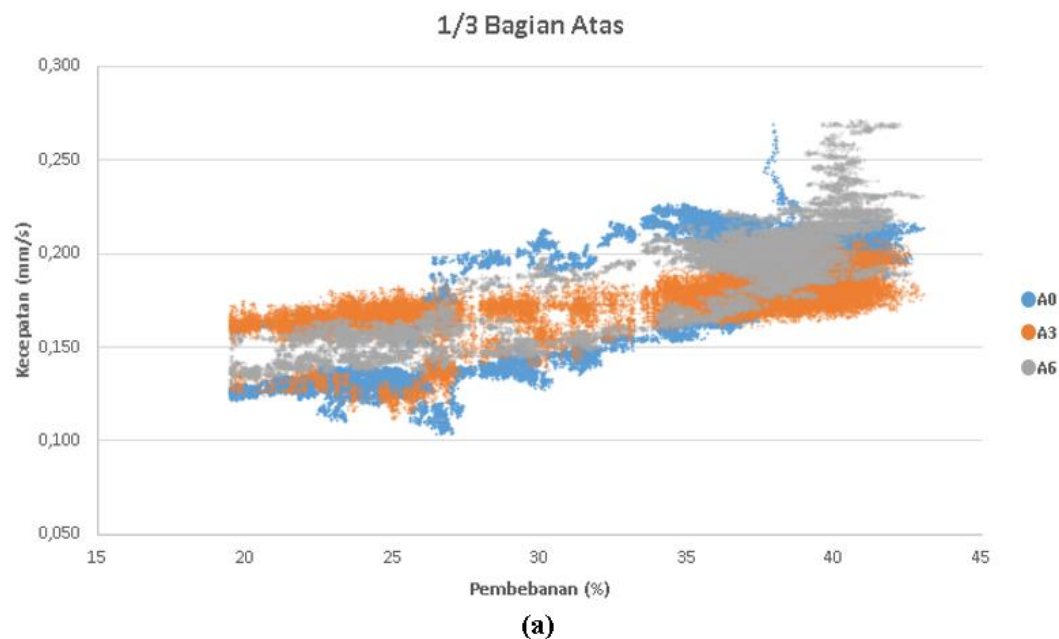
Merujuk pada struktur internal transformator dan mekanisme perambatan vibrasi pada tangki transformator [12], penempatan sensor vibrasi pada 1/3 bagian atas dan 1/3 bagian bawah lebih dekat dengan plat datar, yakni salah satu bagian mekanik dari transformator yang digunakan sebagai penyangga antara tangki dengan *winding* dan *core* dan juga sebagai penampang input dan output transformator distribusi 20 kV (konstruksi internal transformator terdapat pada lampiran) sehingga perambatan vibrasi dari *winding/core* menuju ke tangki cenderung lebih besar dari pada penempatan sensor vibrasi pada 1/3 bagian tengah.

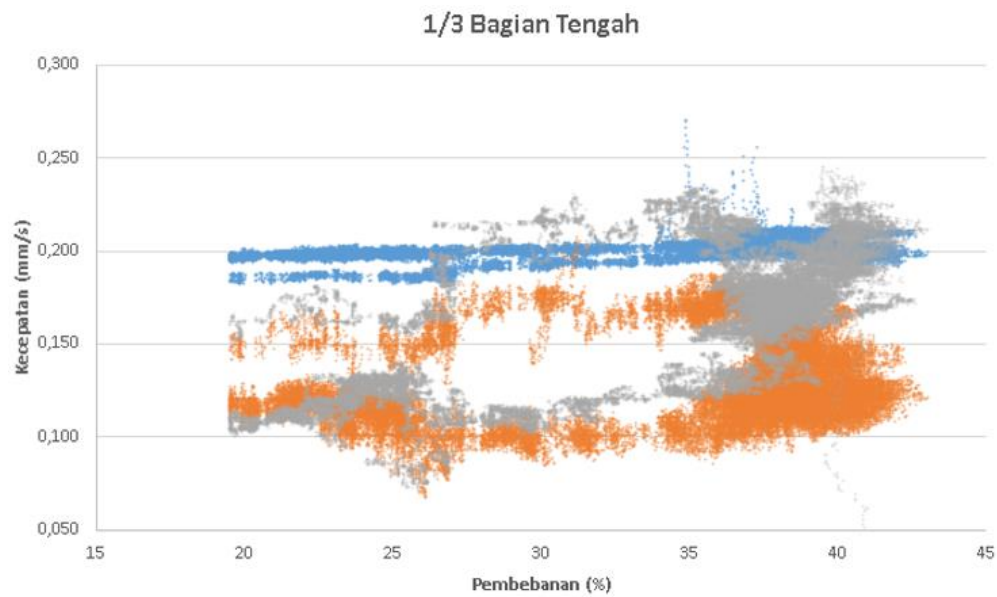
4.4 Hubungan pembebanan terhadap posisi peletakan sensor vibrasi dengan diagram pencar

Dari hasil data pengukuran pembebanan dengan THDi maka untuk mengetahui korelasi vibrasi terhadap pembebanan, data yang akan diolah dimulai pada pembebanan 20 % hingga pembebanan puncaknya pada masing - masing transformator distribusi 20 kV dikarenakan proses pengambilan data baik arus maupun THDi yang diperoleh pada kondisi pembebanan yang tidak dapat dikontrol. Sehingga hasil pengukuran korelasi vibrasi terhadap pembebanan berada pada kondisi variasi perubahan nilai THDi yang tidak signifikan.

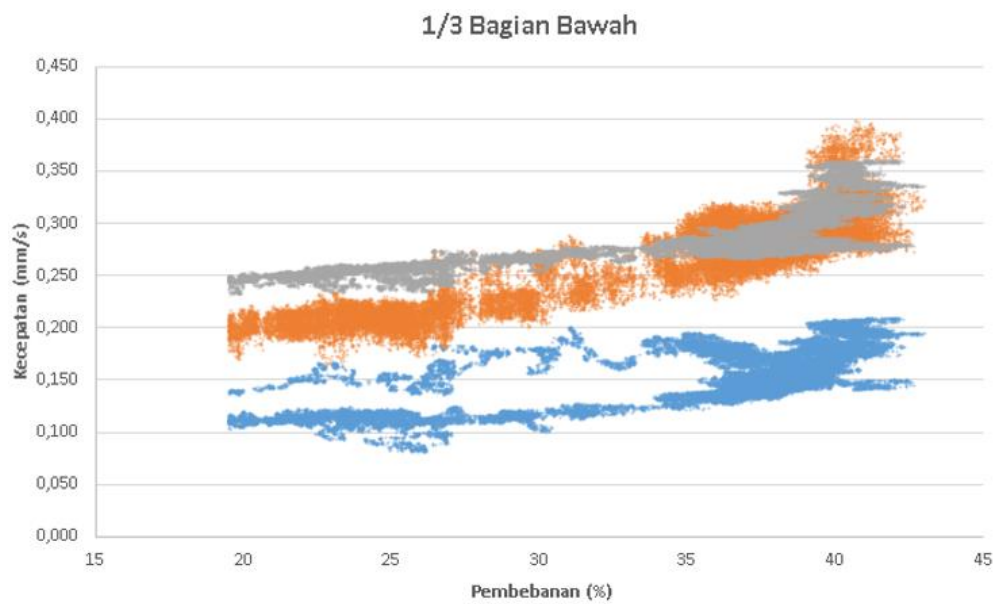
Sebelum analisis koefisien nilai korelasi (r) data akan dieksplorasi terlebih dahulu dalam bentuk diagram pencar (*scatter plot*) untuk diketahui pola hubungan diantara masing – masing pasangan variabel sebagai titik tunggal. Berikut disajikan hubungan pembebanan terhadap vibrasi pada masing – masing daerah pengukuran dengan diagram pencar:

1. Transformator distribusi 20 kV/630 kVA di gardu SS4





(b)

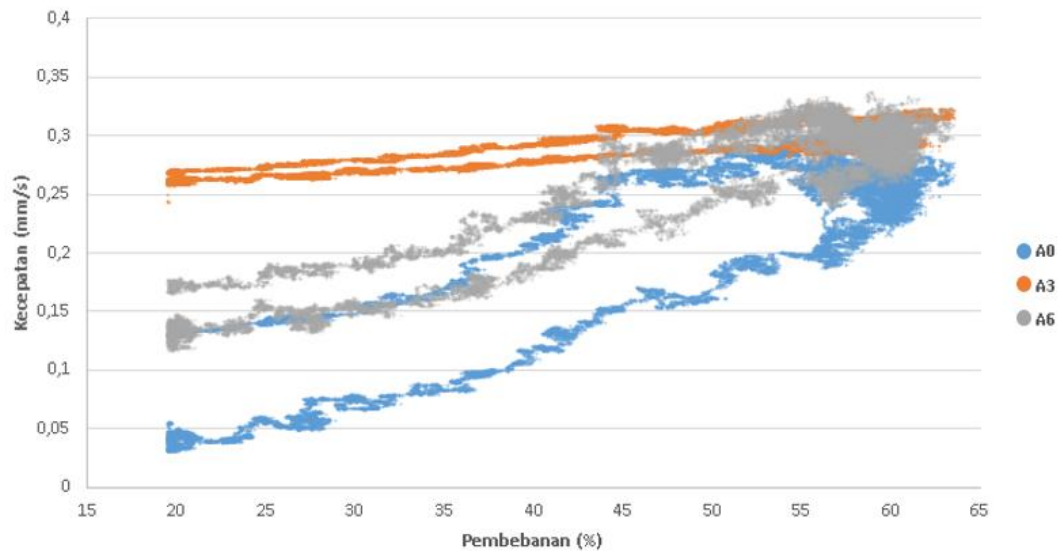


(c)

Gambar 4.9 Diagram pencar data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian atas (a), Diagram pencar data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian tengah (b), Diagram pencar data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian bawah (c)

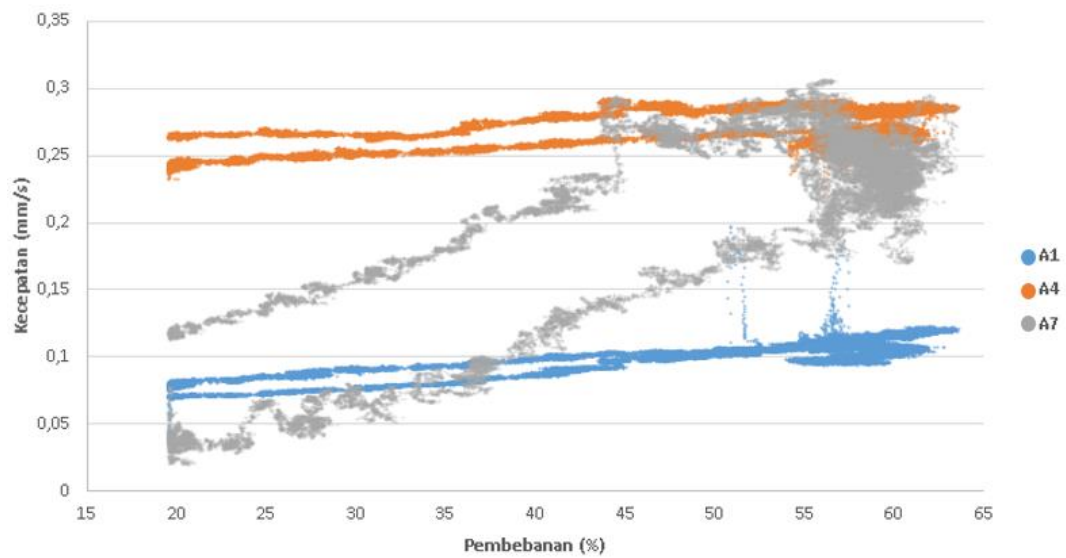
2. Transformator distribusi 20 kV/800 kVA di gardu teknik sipil

1/3 Bagian Atas

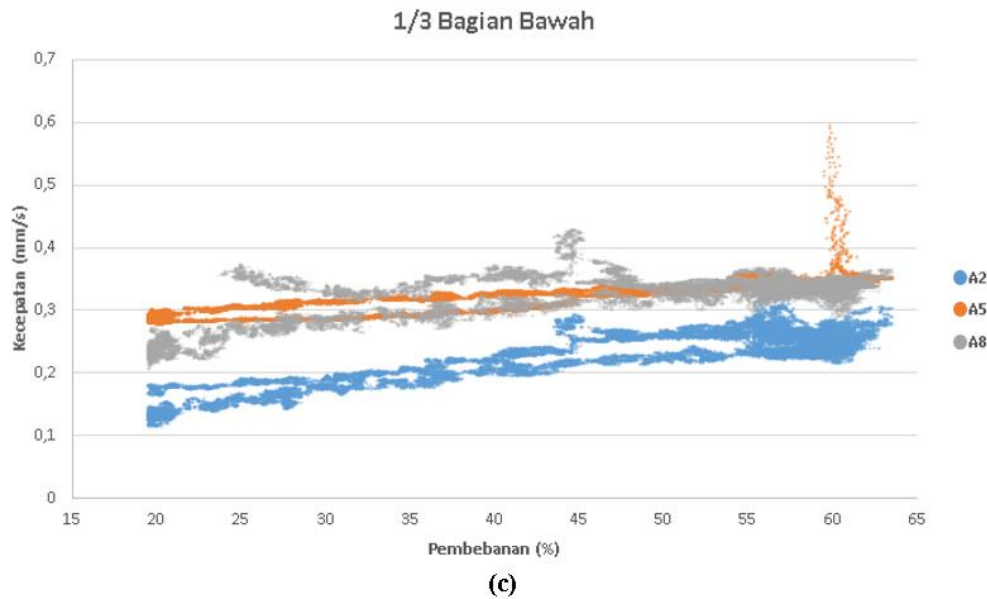


(a)

1/3 Bagian Tengah



(b)



Gambar 4.10 Diagram pencar data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian atas (a), Diagram pencar data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian tengah (b), Diagram pencar data pembebanan terhadap sensor vibrasi di 1/3 bagian bawah (c)

Dari hasil yang telah ditunjukkan Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 bahwa pola yang terbentuk dari sebaran nilai dari masing – masing pasangan variabel yakni vibrasi dan pembebanan mengarah semakin keatas yang mengindikasikan adanya korelasi positif diantaranya sehingga dapat diketahui adanya pola peningkatan pada masing - masing pasangan variabel yang saling menguatkan.

4.5 Hubungan pembebanan terhadap posisi peletakan sensor vibrasi dengan pendekatan korelasi pearson

Selanjutnya untuk mengetahui seberapa besar hubungan masing - masing pasangan variabel dapat diketahui dengan menghitung nilai koefisien korelasi (r). Dari hasil pola sebaran data masing - masing pasangan variabel (diagram pencar) maka perhitungan nilai koefisien korelasi (r) dapat dihitung dengan metode pendekatan korelasi pearson.

Berikut disajikan data nilai dari masing - masing pasangan variabel pada ke dua transformator distribusi 20 kV yang diujikan:

Tabel 4-6 Data nilai masing - masing pasangan variabel vibrasi terhadap pembebanan pada transformator distribusi 20 kV/630 kVA

x	y	Σn	Σx	Σy	Σx^2	Σy^2	Σxy
Pembe- banan	A0	60648	2.092.830	10.863,11	74.525.124	1.995,50	383.816,11
	A1	60648	2.092.830	12.190,60	74.525.124	2.451,61	421.534,43
	A2	60648	2.092.830	9.080,69	74.525.124	1.400,99	320.305,51
	A3	60648	2.092.830	10.698,31	74.525.124	1.898,61	372.662,68
	A4	60648	2.092.830	7.827,35	74.525.124	1.041,74	271.827,39
	A5	60648	2.092.830	16.231,24	74.525.124	4.436,66	573.195,33
	A6	60648	2.092.830	11.429,47	74.525.124	2.196,11	402.898,33
	A7	60648	2.092.830	10.027,07	74.525.124	1.727,24	354.488,33
	A8	60648	2.092.830	17.007,43	74.525.124	4.805,09	593.560,94

Tabel 4-7 Data nilai masing - masing pasangan variabel vibrasi terhadap pembebanan pada transformator distribusi 20 kV/800 kVA

x	y	Σn	Σx	Σy	Σx^2	Σy^2	Σxy
Pembe- banan	A0	48570	2.344.509	10.226,90	121.637.944	2.443,13	536.971,64
	A1	48570	2.344.509	4.847,61	121.637.944	491,41	241.026,83
	A2	48570	2.344.509	11.284,24	121.637.944	2.699,24	567.301,54
	A3	48570	2.344.509	14.230,16	121.637.944	4.182,25	695.205,37
	A4	48570	2.344.509	13.095,18	121.637.944	3.539,28	636.861,90
	A5	48570	2.344.509	15.942,84	121.637.944	5.255,61	781.709,55
	A6	48570	2.344.509	12.434,96	121.637.944	3.358,55	635.974,26
	A7	48570	2.344.509	9.791,96	121.637.944	2.241,64	512.500,79
	A8	48570	2.344.509	15.839,85	121.637.944	5.217,68	778.914,14

Dari data nilai masing - masing pasangan variabel yang disajikan pada Tabel 4-6 dan Tabel 4-7, maka dapat dicari nilai koefisien korelasinya (x dan y) dengan pendekatan korelasi pearson untuk r (P, A0) transformator distribusi 20 kV/630 kVA hasilnya adalah sebagai berikut:

$$r(x, y) = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \cdot \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}}$$

$$r(P, A0) = \frac{60648 \sum 383.816,11 - (\sum 2.092.830)(\sum 10.863,11)}{\sqrt{60648 \sum 74.525.124 - (\sum 2.092.830)^2} \cdot \sqrt{60648 \sum 1.995,50 - (\sum 10.863,11)^2}}$$

$$r(P, A0) = \frac{23.277.679.303,61 - 22.734.645.769,98}{\sqrt{4.519.799.709.432 - 4.379.937.660.369,2} \cdot \sqrt{121.023.035,45 - 118.007.186}}$$

$$r(P, A0) = \frac{543.033.533,6}{649.463.533,5} = 0,83$$

Dengan cara yang sama seperti perhitungan nilai korelasi r (P, A0) transformator distribusi 20 kV/630 kVA, maka untuk memperoleh nilai koefisien korelasi (r) masing - masing pasangan variabel lainnya pada transformator yang diujikan dapat diketahui.

Berikut disajikan hasil keseluruhan nilai koefisien korelasi r (x, y) dari masing – masing pasangan variabel pada ke dua transformator distribusi 20 kV yang diujikan:

Tabel 4-8 Nilai koefisien korelasi (r) masing - masing pasangan variabel vibrasi terhadap pembebanan pada transformator distribusi 20 kV/630 kVA

Variabel (x,y)	Koefisien korelasi (r)	Keterangan	Daerah peletakan sensor vibrasi
Pembebanan , A0	+0,8	Positif kuat	1/3 bagian atas
Pembebanan , A3	+0,8	Positif kuat	
Pembebanan , A6	+0,8	Positif kuat	
Pembebanan , A1	+0,5	Positif cukup	1/3 bagian tengah
Pembebanan , A4	+0,2	Positif lemah	
Pembebanan , A7	+0,7	Positif cukup	
Pembebanan , A2	+0,8	Positif kuat	1/3 bagian bawah
Pembebanan , A5	+0,9	Positif kuat	
Pembebanan , A8	+0,8	Positif kuat	

Tabel 4-9 Nilai koefisien korelasi (r) masing - masing pasangan variabel vibrasi terhadap pembebanan pada transformator distribusi 20 kV/800 kVA

Variabel (x,y)	Koefisien korelasi (r)	Keterangan	Daerah peletakan sensor vibrasi
Pembebanan , A0	+0,9	Positif kuat	1/3 bagian atas
Pembebanan , A3	+0,8	Positif kuat	
Pembebanan , A6	+0,9	Positif kuat	
Pembebanan , A1	+0,7	Positif cukup	1/3 bagian tengah
Pembebanan , A4	+0,5	Positif cukup	
Pembebanan , A7	+0,7	Positif cukup	
Pembebanan , A2	+0,9	Positif kuat	1/3 bagian bawah
Pembebanan , A5	+0,9	Positif kuat	
Pembebanan , A8	+0,8	Positif kuat	

Dari hasil nilai koefisien korelasi (r) pada masing - masing pasangan variabel yang ditunjukkan pada Tabel 4-8 dan

Tabel 4-9 dapat diketahui bahwa korelasi vibrasi terhadap pembebanan pada daerah peletakan sensor vibrasi di 1/3 bagian atas (A0, A3, A6) dan 1/3 bagian bawah (A2, A5, A8) memiliki nilai koefisien korelasi positif kuat daripada daerah peletakan di 1/3 bagian tengah (A1, A4, A7) yakni positif cukup/lemah.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melewati proses analisis dan pembahasan, hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sensor vibrasi menggunakan elemen *piezoelectric* 20 mm yang telah didesain dapat digunakan untuk membaca data akselerasi dengan toleransi $\pm 17,2\%$. Persentase nilai ini didapat dari selisih pembacaan sensor *piezo* dengan alat ukur *vibration meter tester* merek lutron vb-8200 pada media perambatan yang telah didesain khusus untuk menyimulasikan perambatan vibrasi mekanik.
2. Semakin meningkatnya arus, maka pembebanan akan semakin meningkat adapun peningkatan maupun penurunan nilai THDi berdasarkan kondisi dari hasil pengukuran langsung pada transformator, dimana pembebanannya yang tidak dapat dikontrol.
3. Semakin meningkatnya pembebanan, maka vibrasi juga akan mengalami peningkatan sesuai dengan vibrasi yang terukur pada masing – masing sensor vibrasi.
4. Sensor vibrasi yang terletak di 1/3 bagian atas (A0, A3, A6) dan 1/3 bagian bawah (A2, A5, A8) pada masing – masing tangki transformator lebih sensitif terhadap kenaikan pembebanan dari pada di 1/3 bagian tengah (A1, A4, A5).
5. Vibrasi yang terukur pada sensor vibrasi yang terletak di 1/3 bagian bawah (A2, A5, A8) memiliki nilai yang lebih tinggi daripada sensor vibrasi yang terletak di 1/3 bagian atas (A0, A3, A6) dan 1/3 bagian tengah (A1, A4, A5).
6. Daerah peletakan sensor vibrasi di 1/3 bagian atas (A0, A3, A6) dan 1/3 bagian bawah (A2, A5, A8) memiliki nilai koefisien korelasi positif kuat daripada daerah peletakan di 1/3 bagian tengah (A1, A4, A5) yakni positif cukup/lemah.

5.2 Pengembangan penelitian

Dalam upaya untuk memperbarui dan memperluas cakupan penelitian ke depan, penulis memberikan beberapa saran diantaranya:

1. Jenis sensor vibrasi, seperti sensor vibrasi magnetik maupun dalam bentuk modul IC, dan teknik kalibrasi dapat dikembangkan lebih lanjut guna mencapai nilai toleransi alat ukur yang rendah. Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah mengenai kesesuaian jenis dari sensor vibrasi yang akan digunakan terhadap objek yang akan diukur vibrasinya.
2. Penambahan rangkaian penguat sinyal (*op-Amp*) dapat dilakukan untuk pengukuran yang memerlukan sensitifitas tinggi, namun perlu diperhatikan juga bahwa penggunaan *op-Amp* dengan perhitungan penguatan sinyal yang tidak tepat, dapat menimbulkan masalah lain yang lebih kompleks, seperti timbulnya sinyal *noise* yang dibangkitkan dari perangkat itu sendiri.
3. Pengukuran vibrasi dapat dilakukan secara remote/jarak jauh dengan berkonsep pada *Internet of Things* (IoT), sehingga indikasi kerusakan transformator akibat vibrasi yang tidak normal dapat terdeteksi lebih dini dan dapat dilakukan penanganan lebih lanjut dalam rangka memperpanjang umur transformator.
4. Pengukuran vibrasi pada tangki transformator sebaiknya juga memperhitungkan kondisi dari minyak transformator dan suhu agar dapat mengantisipasi perolehan data pengukuran vibrasi yang memiliki variasi perubahan yang signifikan pada kondisi tertentu.
5. Pengukuran vibrasi terhadap THDi sebaiknya pada pembebanan transformator yang dapat dikontrol. Sehingga dapat diketahui pengaruh vibrasi terhadap THDi yang independen.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] "Online monitors keep transformers in service-IEEE Journals & Magazine".
- [2] Y. P. Aksenov and A. P. Proshletsov, "Two independent methods for power transformers vibration control," in *8th IEEE Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics Drives*, 2011, pp. 487–494.
- [3] B. Garcia, J. C. Burgos, and A. M. Alonso, "Transformer tank vibration modeling as a method of detecting winding deformations-part II: experimental verification," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 21, no. 1, pp. 164–169, Jan. 2006.
- [4] B. Garcia, J. C. Burgos, and A. M. Alonso, "Transformer tank vibration modeling as a method of detecting winding deformations-part I: theoretical foundation," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 21, no. 1, pp. 157–163, Jan. 2006.
- [5] L. Aidi, W. Zebo, H. Hai, Z. Jianping, and W. Jinhui, "Study of vibration sensitive areas on 500kV power transformer tank," in *IEEE 10th International Conference on Industrial Informatics*, 2012, pp. 891–896.
- [6] P. H. Ibargüengoytia, R. Liñan, and E. Betancourt, "Transformer diagnosis using probabilistic vibration models," in *IEEE PES T D 2010*, 2010, pp. 1–8.
- [7] M. Jin and J. Pan, "Vibration transmission from internal structures to the tank of an oil-filled power transformer," *Applied Acoustics*, vol. 113, pp. 1–6, Dec. 2016.
- [8] Y. Hu, H. Huang, J. Zheng, L. Li, and Z. Jiangong, "Transformer winding faults diagnosis based on vibration distribution characteristics," 2017, pp. 1365–1368.
- [9] W. Xiaowen *et al.*, "Vibration distribution characteristics on oil-tank surface of a single-phase transformer," in *2017 1st International Conference on Electrical Materials and Power Equipment (ICEMPE)*, 2017, pp. 344–348.
- [10] M. Jin, J. Pan, H. Huang, and Jianping Zou, "Transmission of Vibration of a Power Transformer from the Internal Structures to the Tank," in *Proceedings of Acoustics 2012 - Fremantle*, Fremantle, Australia, 2012.
- [11] B. S. Munir, J. J. Smit, and I. G. M. R. Rinaldi, "Diagnosing winding and core condition of power transformer by vibration signal analysis," in *2012 IEEE International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis*, 2012, pp. 429–432.
- [12] B. García, J. C. Burgos, and Á. Alonso, "Winding deformations detection in power transformers by tank vibrations monitoring," *Electric Power Systems Research*, vol. 74, no. 1, pp. 129–138, Apr. 2005.
- [13] M. Nafar, B. Bahmanifirouzi, and M. Jabbari, "Transformer Monitoring by using Vibration Analysis," *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 984–990, p. 7, 2011.
- [14] P. H. Ibargüengoytia, R. Liñan, A. Pascacio, and E. Betancourt, "Probabilistic Vibration Models in the Diagnosis of Power Transformers," *IEEE PES T D*, p. 21, 2010.
- [15] "Research on extraction technique of transformer core fundamental frequency vibration based on OLCM - IEEE Journals & Magazine." [Online].

- Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1705558/>. [Accessed: 07-May-2018].
- [16] N. K. Dixit and K. J. Rangra, "Vibration sensor: Piezoelectric power generator," in *2017 International Conference on Information, Communication, Instrumentation and Control (ICICIC)*, 2017, pp. 1–4.
 - [17] U. K. and S. Somiya, "'Piezoelectric Ceramics' in Handbook of Advanced Ceramics," *Elsevier Academic Press*, vol. 1, 2003.
 - [18] "Arduino Mega 2560 Rev3." [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>. [Accessed: 10-May-2018].
 - [19] "Welcome to NetBeans." [Online]. Available: <https://netbeans.org/>. [Accessed: 10-May-2018].
 - [20] K. H. Zou, K. Tuncali, and S. G. Silverman, "Correlation and Simple Linear Regression," in *Statistical Concepts Series*, RSNA, The Radiological Society of North America, 2003, pp. 618–622.

LAMPIRAN

Listing Program Netbeans java Programing

```
/*  
 * To change this license header, choose License Headers in Project Properties.  
 * To change this template file, choose Tools | Templates  
 * and open the template in the editor.  
 */  
  
package arduino;  
  
  
import com.fazecast.jSerialComm.SerialPort;  
import java.awt.BorderLayout;  
import java.awt.event.ActionEvent;  
import java.awt.event.ActionListener;  
import java.io.PrintWriter;  
import java.text.DecimalFormat;  
import java.util.Scanner;  
import javax.swing.JButton;  
import javax.swing.JComboBox;  
import javax.swing.JFileChooser;  
import javax.swing.JFrame;  
import javax.swing.JPanel;  
import org.jfree.chart.ChartFactory;  
import org.jfree.chart.ChartPanel;  
import org.jfree.chart.JFreeChart;  
import org.jfree.data.xy.XYIntervalSeriesCollection;  
import org.jfree.data.xy.XYSeries;  
import org.jfree.data.xy.XYSeriesCollection;
```

```

/**
 *
 * @author personal
 */
public class Arduino {

    static SerialPort chosenPort;

    static int x = 0;

    static String print = "";

    static JFileChooser chooser;

    static double a1, a2, b1, b2, c1, c2, d1, d2, e1, e2, f1, f2, g1, g2, h1, h2, i1, i2;

    static DecimalFormat numberFormat = new DecimalFormat("#0.000000");

    public static void main(String[] args) {
        // create and configure the window
        JFrame window = new JFrame();
        window.setTitle("Sensor Graph GUI");
        window.setSize(600, 400);
        window.setLayout(new BorderLayout());
        window.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);

        // create a drop-down box and connect button, then place them at the top of
        the window
        JComboBox<String> portList = new JComboBox<String>();
        JButton connectButton = new JButton("Connect");
        JPanel topPanel = new JPanel();
        topPanel.add(portList);

```

```

topPanel.add(connectButton);

window.add(topPanel, BorderLayout.NORTH);


// populate the drop-down box
SerialPort[] portNames = SerialPort.getCommPorts();
for(int i = 0; i < portNames.length; i++)
    portList.addItem(portNames[i].getSystemPortName());


// create the line graph
XYSeries series = new XYSeries("Light Sensor Readings");
XYSeriesCollection dataset = new XYSeriesCollection(series);
JFreeChart chart = ChartFactory.createXYLineChart("Light Sensor
Readings", "Time (seconds)", "ADC Reading", dataset);
window.add(new ChartPanel(chart), BorderLayout.CENTER);


// configure the connect button and use another thread to listen for data
connectButton.addActionListener(new ActionListener(){
    @Override
    public void actionPerformed(ActionEvent arg0) {
        if(connectButton.getText().equals("Connect")) {
            // attempt to connect to the serial port
            chosenPort =
SerialPort.getCommPort(portList.getSelectedItem().toString());
            chosenPort.setComPortTimeouts(SerialPort.TIMEOUT_SCANNER,
0, 0);
            if(chosenPort.openPort()) {
                connectButton.setText("Disconnect");
                portList.setEnabled(false);
            }
        }
    }
});

```

graph

```
// create a new thread that listens for incoming text and populates the
```

```
Thread thread = new Thread(){
    @Override public void run() {
        Scanner scanner = new Scanner(chosenPort.getInputStream());

        double[][] block = new double[9][8];

        while(scanner.hasNextLine()) {
            try {
                String line = scanner.next();
                String[] data = line.split(";");
                double number = Double.parseDouble(data[0]);
                double number1 = Double.parseDouble(data[1]);
                double number2 = Double.parseDouble(data[2]);
                double number3 = Double.parseDouble(data[3]);
                double number4 = Double.parseDouble(data[4]);
                double number5 = Double.parseDouble(data[5]);
                double number6 = Double.parseDouble(data[6]);
                double number7 = Double.parseDouble(data[7]);
                double number8 = Double.parseDouble(data[8]);

                block[0][7] = number;
                block[0][0] = block[0][1];
                block[0][1] = block[0][2];
                block[0][2] = block[0][3];
                block[0][3] = block[0][4];
                block[0][4] = block[0][5];
                block[0][5] = block[0][6];
```


block[0][6] = block[0][7];

block[1][7] = number1;

block[1][0] = block[1][1];

block[1][1] = block[1][2];

block[1][2] = block[1][3];

block[1][3] = block[1][4];

block[1][4] = block[1][5];

block[1][5] = block[1][6];

block[1][6] = block[1][7];

block[2][7] = number2;

block[2][0] = block[2][1];

block[2][1] = block[2][2];

block[2][2] = block[2][3];

block[2][3] = block[2][4];

block[2][4] = block[2][5];

block[2][5] = block[2][6];

block[2][6] = block[2][7];

block[3][7] = number3;

block[3][0] = block[3][1];

block[3][1] = block[3][2];

block[3][2] = block[3][3];

block[3][3] = block[3][4];

block[3][4] = block[3][5];

block[3][5] = block[3][6];

block[3][6] = block[3][7];

```
block[4][7] = number4;  
block[4][0] = block[4][1];  
block[4][1] = block[4][2];  
block[4][2] = block[4][3];  
block[4][3] = block[4][4];  
block[4][4] = block[4][5];  
block[4][5] = block[4][6];  
block[4][6] = block[4][7];
```

```
block[5][7] = number5;  
block[5][0] = block[5][1];  
block[5][1] = block[5][2];  
block[5][2] = block[5][3];  
block[5][3] = block[5][4];  
block[5][4] = block[5][5];  
block[5][5] = block[5][6];  
block[5][6] = block[5][7];
```

```
block[6][7] = number6;  
block[6][0] = block[6][1];  
block[6][1] = block[6][2];  
block[6][2] = block[6][3];  
block[6][3] = block[6][4];  
block[6][4] = block[6][5];  
block[6][5] = block[6][6];  
block[6][6] = block[6][7];
```

```
block[7][7] = number7;  
block[7][0] = block[7][1];
```

```
block[7][1] = block[7][2];
block[7][2] = block[7][3];
block[7][3] = block[7][4];
block[7][4] = block[7][5];
block[7][5] = block[7][6];
block[7][6] = block[7][7];
```

```
block[8][7] = number8;
block[8][0] = block[8][1];
block[8][1] = block[8][2];
block[8][2] = block[8][3];
block[8][3] = block[8][4];
block[8][4] = block[8][5];
block[8][5] = block[8][6];
block[8][6] = block[8][7];
```

```
double sum0 = 0,
       sum1 = 0,
       sum2 = 0,
       sum3 = 0,
       sum4 = 0,
       sum5 = 0,
       sum6 = 0,
       sum7 = 0,
       sum8 = 0;
```

```
for (int i = 0; i < block[0].length; i++) {
    sum0 += block[0][i];
    sum1 += block[1][i];
```

```

sum2 += block[2][i];
sum3 += block[3][i];
sum4 += block[4][i];
sum5 += block[5][i];
sum6 += block[6][i];
sum7 += block[7][i];
sum8 += block[8][i];
}

```

```

double raw0 = (sum0 / 8) ,
raw1 = (sum1 / 8) ,
raw2 = (sum2 / 8) ,
raw3 = (sum3 / 8) ,
raw4 = (sum4 / 8) ,
raw5 = (sum5 / 8) ,
raw6 = (sum6 / 8) ,
raw7 = (sum7 / 8) ,
raw8 = (sum8 / 8) ;

```

```
//
```

```

a2 = (450 - (raw0*2)) / 1000;
b2 = (280 - (raw1*4.4)) / 1000;
c2 = (410 - (raw2*2)) / 1000;
d2 = (420 - (raw3*6)) / 1000;
e2 = (340 - (raw4*6)) / 1000;
f2 = (1110 - (raw5*6)) / 1000;
g2 = (440 - (raw6*2)) / 1000;
h2 = (440 - (raw7*2)) / 1000;
i2 = (590 - (raw8*2)) / 1000;

```

Faktor kalibrasi

```

double perc0 = a2 - a1;
double perc1 = b2 - b1;
double perc2 = c2 - c1;
double perc3 = d2 - d1;
double perc4 = e2 - e1;
double perc5 = f2 - f1;
double perc6 = g2 - g1;
double perc7 = h2 - h1;
double perc8 = i2 - i1;

series.add(x++, (perc0));

System.out.println(numberFormat.format(perc0) + " "
    + numberFormat.format(perc1) + " "
    + numberFormat.format(perc2) + " "
    + numberFormat.format(perc3) + " "
    + numberFormat.format(perc4) + " "
    + numberFormat.format(perc5) + " "
    + numberFormat.format(perc6) + " "
    + numberFormat.format(perc7) + " "
    + numberFormat.format(perc8) + " ");

print += x + "," + raw0 + "," + perc0 + ","
    + raw1 + "," + perc1 + ","
    + raw2 + "," + perc2 + ","
    + raw3 + "," + perc3 + ","
    + raw4 + "," + perc4 + ","
    + raw5 + "," + perc5 + ","
    + raw6 + "," + perc6 + ","
    + raw7 + "," + perc7 + ","
    + raw8 + "," + perc8 + "\n";

```

```

        a1 = raw0;
        b1 = raw1;
        c1 = raw2;
        d1 = raw3;
        e1 = raw4;
        f1 = raw5;
        g1 = raw6;
        h1 = raw7;
        i1 = raw8;
        window.repaint();
    } catch(Exception e) {
        System.out.println(e);
    }
}
scanner.close();
}
};
thread.start();
} else {
    // disconnect from the serial port
    chosenPort.closePort();
    portList.setEnabled(true);
    connectButton.setText("Connect");
    series.clear();
    x = 0;

    chooser = new JFileChooser();
    chooser.showSaveDialog(null);

```

```

    try {
        String location = chooser.getSelectedFile().toString();
        PrintWriter writer = new PrintWriter(location);
        writer.print(print);
        writer.close();

    } catch (Exception e) {

    }
}
});

// show the window
window.setVisible(true);
}
}

```

Halaman ini sengaja dikosongkan

Listing Program Arduino

```
const int PIEZO_PIN0 = A0;
const int PIEZO_PIN1 = A1;
const int PIEZO_PIN2 = A2; // Piezo output
const int PIEZO_PIN3 = A3;
const int PIEZO_PIN4 = A4;
const int PIEZO_PIN5 = A5;
const int PIEZO_PIN6 = A6;
const int PIEZO_PIN7 = A7;
const int PIEZO_PIN8 = A8;

//int Xread;
//int Xrest;
//float Gx;

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    // Xrest=analogRead(PIEZO_PIN);
    // Serial.print(Xrest);
}

void loop()
{

    // Xread=analogRead(PIEZO_PIN) - Xrest;
    // Gx=Xread/67.584;
    int piezo0ADC = analogRead(PIEZO_PIN0) ;
```

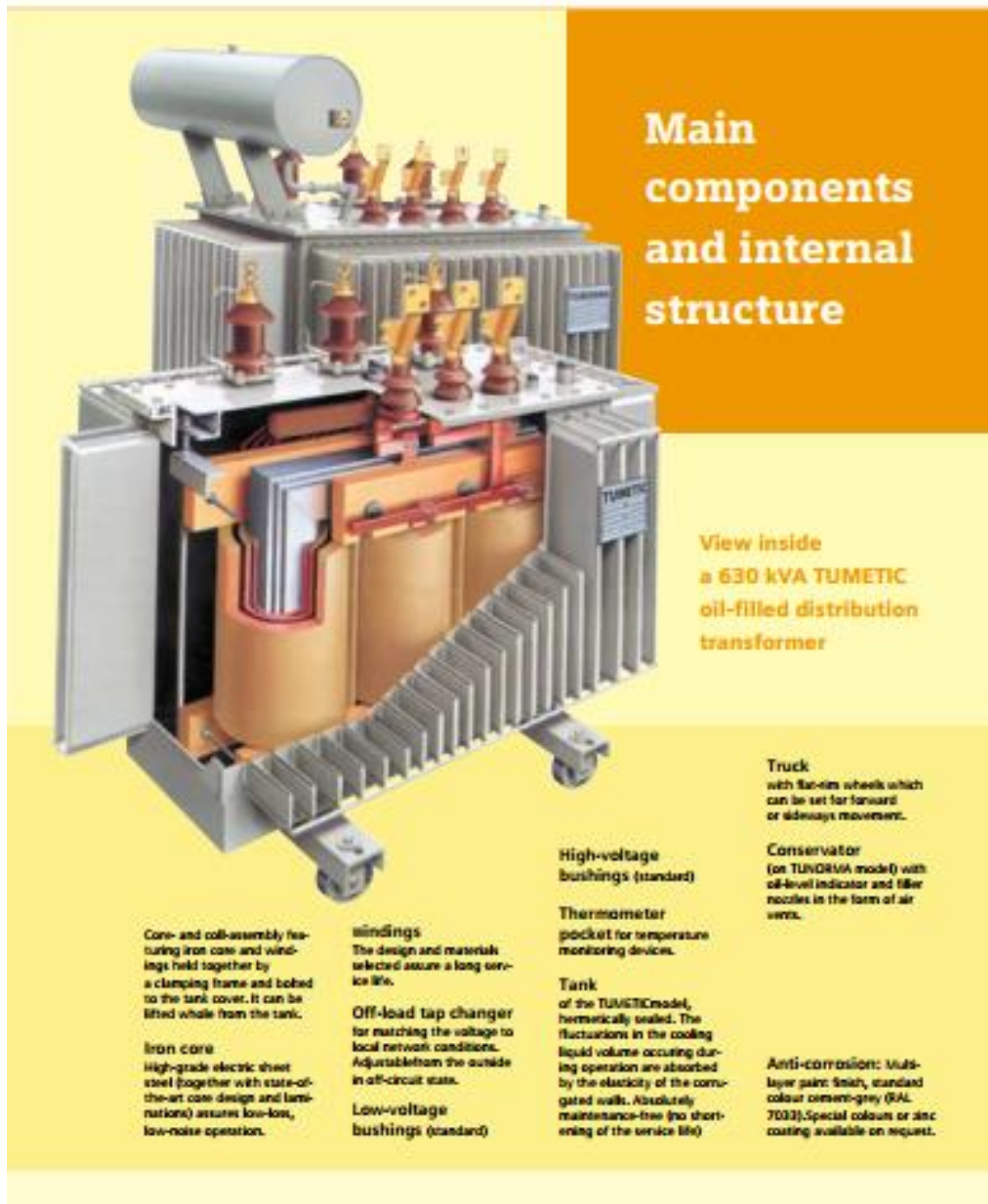
```

    int piezo1ADC = analogRead(PIEZO_PIN1) ;
    int piezo2ADC = analogRead(PIEZO_PIN2) ;
    int piezo3ADC = analogRead(PIEZO_PIN3) ;
    int piezo4ADC = analogRead(PIEZO_PIN4) ;
    int piezo5ADC = analogRead(PIEZO_PIN5) ;
    int piezo6ADC = analogRead(PIEZO_PIN6) ;
    int piezo7ADC = analogRead(PIEZO_PIN7) ;
    int piezo8ADC = analogRead(PIEZO_PIN8) ;

    Serial.print(piezo0ADC);
    Serial.print(";");
    Serial.print(piezo1ADC);
    Serial.print(";");
    Serial.print(piezo2ADC);
    Serial.print(";");
    Serial.print(piezo3ADC);
    Serial.print(";");
    Serial.print(piezo4ADC);
    Serial.print(";");
    Serial.print(piezo5ADC);
    Serial.print(";");
    Serial.print(piezo6ADC);
    Serial.print(";");
    Serial.print(piezo7ADC);
    Serial.print(";");
    Serial.println(piezo8ADC);
    delay(1000);
}

```

Struktur internal transformator 20 kV/630 kVA



Halaman ini sengaja dikosongkan